Б. Клейн

В поисках

Физики
и квантовая
теория


АИ

The Questioners:

PHYSICSTS AND THE QUANTUM THEORY

Barbara Lovett Cline

Thomas Y. Crowell Company
New York

Б. Клайн

В поисках

Физики и квантовая теория

Перевод с английского Р. А. Зеленко

МОСКВА АТОМИЗДАТ 1971

УДК 530.145.6(23)

Клайн Б. **В понсках. Фнзнки и кваитовая теория.** М., Атомнздат, 1971.

В кннге рассказывается о снльных духом н целеустремлеииых людях, которые всю свою жнзиь отдалн науке н работы которых послужнлн началом новой эры в фнзнке,— об Эйиштейне и Боре, Плаике н Резерфорде, Паули, Гейзенберге, Шреднигере, Дираке, Борне — лауреатах Нобелевской премин.

Учеиые показаны за работой. Это позволяет чнтателю самому как бы стать свидетелем огромных свершений в иауке, которыми был так богат пернод с 1900 по 1927 год.

Книга написаиа живо и увлекательно, она будет с большнм ннтересом прочнтаиа темн, кто хочет как можно больше узнать о современной фнзнке н ее создателях.

$\frac{2-3-7}{81-70}$

Предисловие к русскому изданию

В этой книге живо и интересно рассказано о самом драматическом периоде развития теоретической физики, когда для объяснения явлений атомного мира пришлось отказаться от ясных и, казалось бы, всеобщих принципов старой физики и выработать совершенно новые представления как о самих законах микроскопических явлений, так и методах их теоретического описания. Эта сложнейшая задача была решена в исключительно короткий исторический период несколькими выдающимися учеными нашего века.

Журналистка Барбара Ловетт Клайн в своей книге «В поисках» воссоздает ту творческую атмосферу, в которой рождалась новая физика, рассказывает о жизни ведущих физиков того времени — главных героев этой драмы. Эрнст Резерфорд и Макс Планк, Нильс Бор и Альберт Эйнштейн, Гейзенберг, Паули, Шредингер, Дирак — все это люди, с которыми встретится читатель на страницах книги.

Рассказывая о работе Резерфорда и его учеников в Англии, Макса Планка в Германии и Нильса Бора и его института в Дании, Барбара Клайн постепенно вводит читателя в круг тех идей, над которыми они работали. Она очень ярко и убедительно передает атмосферу переживаний создателей квантовой теории, то напряжение, с которым они пытались использовать любую возможность сохранить тесную связь между классической физикой и рождающейся почти помимо их воли физикой квантовой. И в самый ответственный момент, когда требование ясного и точного изложения основ квантовой механики уже начинает входить в противоречие с доступностью и

наглядностью изложения, Барбара Клайн использует замечательный прием: новую волновую механику обсуждают два физика — Олдфилд, знакомый с квантовой теорией лишь на уровне первой модели Бора, и Ньюкоум, знающий вероятностную интерпретацию волновой механики. С интересом следя за диалогом Олдфилда и Ньюкоума, читатель, не чувствуя трудностей и с большой пользой для себя, преодолевает самое трудное место в изложении.

Общая теория относительности и квантовая теория развивались одновременно и независимо, не имея между собой точек соприкосновения. Это обстоятельство нашло свое отражение и в очень удачном композиционном построении книги. Барбара Клайн переносит место действия своего рассказа то в Швейцарию, к Эйнштейну, то в Данию, к Бору. И хотя рассказ о работе этих двух физиков не может быть вплетен в единую нить повествования, читатель тем не менее имеет полное представление о каждом из этапов их работы. И лишь последняя глава, относящаяся к тому времени, когда по сути дела было завершено построение и общей теории относительности, и копенгагенской интерпретации квантовой механики, посвящается встрече двух великих физиков Альберта Эйнштейна и Нильса Бора и их дискуссии по фундаментальным философским проблемам естествознания.

Вместе с тем рассказ Барбары Клайн о творческом вкладе отдельных ученых в создание современных физических представлений содержит ряд неточностей и пробелов. В книге мы находим подробное описание процесса формирования идей квантовой механики, отражение коллективного характера творчества ученых, когда, несмотря даже на резкое расхождение во взглядах, работа каждого из них ложилась в основу построения одной и той же новой физической теории. В то же время в книге совершенно отсутствует описание аналогичного процесса формирования идей специальной теории относительности.

Трудно найти объяснение вопиющей необъективности автора книги, сумевшей рассказать о создании специальной теории относительности, не упомянув даже имен Г. Лоренца и А. Пуанкаре. А ведь работа Лоренца 1904 года, посвященная электродинамике движущихся тел, фактически уже включала в не осознанном полностью виде содержание специальной теории относительности, подобно тому как работа Шре-

дингера до расшифровки статистического смысла волновой функции включала не осознанное полностью содержание квантовой механики.

Пуанкаре же еще в 1902 году в своей книге «Наука и гипотеза» выдвинул принцип относительности для инерциального движения как всеобщую закономерность для всех физических явлений. Пуанкаре являлся не только предшественником Эйнштейна, но и непосредственно одним из создателей специальной теории относительности. В работе, написанной в 1905 году, он дает изложение теории относительности в строгой математической форме, формулируя групповые свойства преобразований Лоренца и вводя четырехмерную формулировку теории. Статья Пуанкаре включала не только содержание параллельной ей работы Эйнштейна, но и более позднюю работу Минковского, превосходя и ее в некоторых пунктах, касающихся использования строгого математического языка теории групп. Парадоксальная ситуация с меньшей по сравнению с Эйнштейном популярностью Пуанкаре как одного из создателей теории относительности, казалось бы, и должна составить предмет исследования именно для книги, повествующей об истории возникновения и признания новейших представлений физики XX века.

Неверно также представлены в книге Б. Клайн исходные мотивы, побудившие Эйнштейна размышлять о релятивистском варианте теории тяготения. Прежде всего имелась самая настоятельная и непосредственная потребность в приведении теории тяготения Ньютона в соответствие со специальной теорией относительности. Ведь в противном случае оставалась бы возможность обнаружения абсолютного движения системы координат на основе гравитационных экспериментов. Именно это обстоятельство и побудило искать релятивистски инвариантную формулировку теории тяготения. И не случайно поэтому первая попытка создания такой теории была сделана Пуанкаре в той же работе, посвященной формулировке специальной теории относительности. Эйнштейн же, наряду с требованием лоренцевой инвариантности сил тяготения, впоследствии учел тождественность их силам инерции и на этой основе пришел к созданию более общей теории относительности.

При описании истории формирования идей квантовой механики в книге Б. Клайн осталось не отраженным фундаментальное значение работы М. Борна в установ-

лении статистической трактовки волновой функции. В целом интерпретация квантовой механики изложена в книге как окончательно сформировавшаяся уже к 1930 году. На самом же деле во все последующие годы продолжалась дискуссия вокруг проблем истолкования закономерностей микромира и полноты квантовомеханического описания, в ходе которой и произошло дальнейшее развитие интерпретации волновой механики. В частности, волновая функция стала трактоваться не как некая дополнительная сторона физического образа микрообъекта, а только как математическая величина — так называемая волна вероятности. Немалое значение для дальнейшего развития интерпретации квантовой механики сыграло наиболее строгое математическое изложение этой теории фон Нейманом в 1934 году. Именно основываясь на этом строгом изложении теории, Д. И. Блохинцеву удалось показать неправомерность принятого в копенгагенской интерпретации отнесения статистических закономерностей к отдельной микросистеме.

Более строгую формулировку эти вопросы получили также и в работах В. А. Фока, в которых квадрат амплитуды волновой функции трактуется уже не как характеристика размазывания в пространстве отдельного микрообъекта, а как характеристика потенциальных возможностей проявления свойства отдельной микрочастицы обладать в момент измерения определенным значением пространственной координаты.

Но даже в этих более точных и строгих вариантах изложения претензия ортодоксальной трактовки квантовой механики на полную завершенность и исчерпывающую ясность многим представляется научно необоснованной. Действительно, пока не создано более общей теории, четко выявляющей границы применимости квантовой механики, казалось бы, не должно быть и речи об исчерпывающей ясности понимания содержания этой теории. С другой стороны, надежды некоторых на возможность в будущем создать детерминистскую картину описания движения микрочастиц опровергается строгими доказательствами несовместимости представления о движении микрочастиц по определенной, скрытой от нас траектории со всей совокупностью экспериментальных данных, точно описываемых современной квантовой теорией. Но вместе с тем нет никаких оснований отвергать возможность дальнейшего развития понимания квантовых явлений на

основе создания вероятностного описания движения микрочастиц в пространстве и времени. Надежды на развитие квантовой теории в этом направлении особенно утвердились после создания нескольких представлений квантовой механики, использующих формально язык классической статистической физики. Так, известным американским теоретиком Р. Фейнманом было развито представление квантовой механики, использующее суммирование по различным возможным траекториям. И хотя это лишь формально использованный язык классической статистической физики (поскольку в математический аппарат входят вместо вероятностей квазивероятности, принимающие комплексные или отрицательные значения), само объяснение возможности подобного представления квантовой теории выходит за рамки общепринятого понимания этой теории.

Чтобы устранить указанные пробелы книги Барбары Клайн, мы сочли необходимым дополнить русское издание книги отдельной главой, написанной одним из нас также в форме диалога двух физиков, Ортодоксова и Иноверцева, придерживающихся в значительной мере противоположных точек зрения.

Не сомневаемся, что книга Б. Клайн вызовет большой интерес в самых широких кругах читателей, интересующихся развитием научных представлений об окружающем нас мире.

Думаем, что многим сегодняшним школьникам и студентам, жаждущим столкнуться с труднейшими проблемами естествознания, эта книга поможет выбрать свой путь в науку, в которой постоянно идет штурм и преобразование самых фундаментальных воззрений на физический мир.

У физики славное прошлое, но ее ожидает и поистине величественное будущее. Новые экспериментальные возможности позволили физикам — нашим современникам значительно расширить границы знаний человека о природе. С помощью современной ускорительной техники они проникли не только в структуру атома и ядра, но и в структуру элементарных частиц. Обнаружено, что эти частицы обладают рядом новых свойств, которые нельзя объяснить с помощью релятивистской квантовой теории. Это значит, что сама квантовая теория, в рамках которой исследуются три из четырех фундаментальных взаимодействий природы: сильное, электромагнитное и слабое,

должна претерпеть существенные изменения. Но если не любая из элементарных частиц обладает полным набором этих трех взаимодействий, то четвертое — гравитационное взаимодействие — присуще материи в любом состоянии. А детерминистское описание гравитационного взаимодействия резко противоречит квантовой природе частиц. Поэтому теория элементарных частиц и их структуры, объединяющая все четыре взаимодействия, должна быть принципиально новой, «безумной» теорией, из которой квантовая теория и теория гравитации вытекали бы как частные случаи. Создание такой теории будет означать революцию в теоретическом мышлении, во многом превосходящую ту, которая была начата работами Эйнштейна и Бора.

Но есть и другие причины предстоящего в будущем пересмотра установившихся сегодня фундаментальных физических представлений. Современные возможности экспериментальной астрофизики позволили проникнуть в глубины Вселенной, в те ее области, где происходят гигантские катастрофы, где взрываются звезды и галактики, где находятся фантастические квазизвездные источники, квазары. Какие процессы там происходят? Какова природа тех колоссальных источников энергии, которой при взрыве выделяется столько, как если бы вдруг миллиард солнц взорвался с полным превращением энергии их массы покоя в энергию движения частиц?

Физика наших дней не дает пока ответа на эти вопросы. Может быть, будущая единая теория пространства — времени — материи позволит выяснить природу источников этой энергии и укажет пути к их овладению. Если это случится, цивилизация перейдет на качественно новый уровень...

Д-р. физ.-мат. наук А. А. Тяпкин

Канд. физ.-мат. наук В. Г. Лапчинский

От автора

В романе «Поиски» Чарльз Сноу описывает, какие чувства испытал его герой, когда однажды профессор физики заявил студентам, что он не согласен с точкой зрения одного очень крупного ученого по излагаемому им вопросу физики. Этот намек на разногласия, существующие среди ученых-физиков, поразил студента. Он слышал о научных спорах, которые имели место в прошлом, но современная физика, которой он занимался, казалось, была полностью лишена их, как если бы ученые авторитеты дружно забыли о них. «Наука, — пишет Сноу, — представлялась мне независимой от людей и разногласий между ними».

Мысль о том, что физики далеко не единодушны в своих взглядах, как может казаться со стороны, поразила и меня. Захотелось разобраться во всем этом, понять, например, в чем заключалась разница во взглядах Альберта Эйнштейна и Нильса Бора на квантовую теорию, создателями которой они оба являлись.

Начались поиски. В этой книге собрано все, что мне самой удалось узнать. Особое место в ней отведено ученым, которые посвятили свою жизнь физике в первую четверть двадцатого столетия, в то время, когда были сформулированы квантовая теория и теория относительности. В основу книги положены события, предшествовавшие или происходившие одновременно с развитием первой теории (и в меньшей степени второй). Особое внимание уделено Эйнштейну и Бору, внесшим огромный вклад в квантовую теорию. В книге рассказано о том, где и как они работали, какого склада людьми они были, как по-разному подходили к решению физических проблем.

Поскольку книга посвящена отдельным ученым и общие достижения науки рассматриваются под углом зрения того вклада, который был внесен в нее лишь несколькими людьми, может создаться ложное впечатление, что наука — сооружение, воздвигнутое руками немногих избранных. Я всячески старалась избежать этого, однако боюсь, что не преуспела до конца. Когда внимание концентрируется на отдельных фигурах, другие, естественно, оказываются в тени, если вообще попадают в кадр.

При работе над книгой мною были использованы материалы из биографии Эйнштейна Филиппа Франка «Эйнштейн. Его жизнь и времена», книги Виктора Ф. Вайскопфа «Знание и изумление», а также статьи и другие материалы. Люди, знакомые с различными аспектами вопроса, также оказывали мне всяческую помощь: они отвечали на мои вопросы, объясняли, в отдельных случаях читали и критиковали рукопись книги. В связи с этим мне хотелось бы поблагодарить г-жу С. Хеллманн, г-жу К. Джон, Г. Паули, г-жу Б. Шульц, А. Бора, Г. Гамова, С. Гаудсмита, Д. Гринберга, Дж. Гейлборна, Д. Хевеши, М. Клейна, О. Клейна, С. Мёллера, Р. Оппенгеймера, Д. Прайса, Л. Розенфельда, М. Шеймоса и В. Вайскопфа и отметить, что они не ответственны за ошибки, которые могли быть допущены мною.

П. Хейн любезно позволил мне воспроизвести некоторые из его рисунков из «Журнала шутливой физики», В. Гейзенберг передал мне несколько фотографий. Сотрудники Института теоретической физики (Копенгаген), Библиотеки истории физики им. Нильса Бора, журнала «Физика сегодня» и Американского физического института также оказывали мне ту или иную помощь.

1965 год

Эрнст Резерфорд. Открытие ядра

Только что заново прочел некоторые из моих ранних работ и, представьте, когда закончил, сказал самому себе: «Резерфорд, мой мальчик, а ты, оказывается, был чертовски умным малым».

Лорд Резерфорд сэру Генри Тизарду

Однажды в Манчестерском университете (Англия) два физика говорили об одном из студентов, девятнадцатилетнем Эрнсте Марсдене. «Марсден уже давно ассистирует мне в лаборатории, — сказал один из них. — Не кажется ли вам, что он мог бы самостоятельно выполнить небольшую исследовательскую работу?»

Вторым физиком был директор этой лаборатории, Эрнст Резерфорд, крупный энергичный человек, с большими, как у моржа, усами и громким голосом. Он знал Марсдена по университету, где преподавал студентам физику, и по работе в лаборатории. Как-то раз Резерфорд несправедливо обвинил Марсдена в том, что тот испортил ему ответственный эксперимент. Дело в том, что вот уже десять лет время от времени Резерфорд предпринимал попытки установить природу вылетающих из некоторых радиоактивных элементов частиц, которые он назвал альфа-частицами. И вот Резерфорд был, наконец, близок к цели: с помощью спектроскопа изучен спектр альфа-частиц, собранных в вакуумированной стеклянной трубке, спектр запечатлен на фотографиях. Во время очередного эксперимента Резерфорд, войдя в лабораторию, заметил, что призма спектроскопа сдвинута. В другом конце комнаты, склонившись над оптическим столиком, работал Марсден. Никого больше поблизости не было.

Как вспоминал потом Марсден, он вдруг почувствовал, что кто-то схватил его сзади за плечо, причем «не очень-

то вежливо», и услышал знакомый громкий голос Резерфорда, который вне себя от гнева крикнул: «Это вы сдвинули призму?!»

«Нет», — спокойно ответил Марсден. Из опыта прошлого он знал, что бояться нечего, и в глубине души посмеивался, видя шефа таким раздраженным.

Действительно, спустя полчаса ушедший на поиски «преступника» Резерфорд вернулся и, усевшись рядом с Марсденом, попросил у него прощения. А затем они заговорили о работе, и юноша, слушая Резерфорда и видя, с каким вниманием тот относится к его, Марсдена, словам, совершенно забыл, кто из них учитель, а кто ученик.

И вот на просьбу своего ассистента Ганса Гейгера о небольшой исследовательской работе для Марсдена Резерфорд ответил, что он и сам подумывал об этом. Для работы над темой, которую он предложил студенту, требовались терпение и аккуратность, не говоря уже о хорошем зрении, однако Резерфорд верил, что Марсден с нею справится. Молодой человек должен был наблюдать за отклонением альфа-частиц после прохождения мишени.

В 1909 году, когда происходили описанные события, электрон являлся единственной элементарной частицей, известной ученым. В попытках объяснить свойства вещества физики выдвигали различные гипотезы относительно расположения электронов в атоме. Эти структуры, или атомные модели, должны были объяснить нейтрализацию отрицательного заряда электрона. Ведь в обычном состоянии вещество электрически нейтрально, поэтому в атоме должно содержаться в какой-то форме и положительное электричество. В то время еще не было известно о существовании частицы, аналогичной электрону, но имеющей положительный заряд. Быть может, положительное электричество имеет другую форму, быть может, это жидкость? Дж. Дж. Томсон — английский физик — один из первых ученых, идентифицировавших электрон, разработал атомную модель, основанную на этой гипотезе. Его атом состоял из положительно заряженной жидкости, в которой находились электроны в количестве, достаточном, чтобы компенсировать положительный заряд. Атомная модель Томсона казалась вполне приемлемой, так как в основу ее были положены экспериментальные факты. И все же она требовала доказательств. Многое оставалось еще неясным, и Резерфорд с помощью альфа-частиц мог бы наилучшим образом разрешить проблему.

Альфа-частицы меньше атомов, но достаточно тяжелые и вылетают из радиоактивных веществ с большой скоростью. Поэтому они могли быть использованы в качестве высокоэнергетичных снарядов для исследования атомов в то время, когда такие снаряды еще не научились получать искусственным путем. Пытаясь установить природу альфа-частиц, Резерфорд осуществил ряд экспериментов, в которых поток альфа-частиц пропускался через вещество и фиксировался на светочувствительном экране. Это давало возможность установить, отклоняются ли альфа-частицы от своего первоначального направления после прохождения через вещество или нет.

Такой метод исследования можно сравнить со стрельбой из винтовки по мешку с сеном, в котором спрятан крошечный кусочек платины. Бо́льшая часть пуль вылетит с противоположной стороны мешка, не встретив ничего на своем пути, кроме сена. Пуля, попавшая в платину, отлетит рикошетом под некоторым углом. Если же выстрелить по мешку огромное число раз, многие пули попадут в спрятанный там кусочек платины, и по их рикошетам в различных направлениях можно будет установить местонахождение и форму спрятанного самородка.

Резерфорд и Гейгер выстрелили по атомам многими тысячами альфа-частиц, но ни разу угол рассеяния частиц не превысил нескольких градусов. Такой результат можно было объяснить, предположив, что альфа-частицы, встречая электрон на своем пути, подвергались воздействию его отрицательного заряда.

Чтобы произвести подобные расчеты, необходимо было знать основы математической теории вероятности. Резерфорд был далеко не блестящим математиком и раньше всегда старался выбирать темы, не требующие серьезных математических выкладок. Столкнувшись с необходимостью объяснить явление рассеяния альфа-частиц, он решил вновь усесться на студенческую скамью. Как профессор Манчестерского университета, он читал лекции на физическом факультете. Велико же было удивление его студентов, когда на практических занятиях по математике они увидели профессора Резерфорда, на сей раз сидевшего вместе с ними и усердно делавшего пометки.

На этих занятиях Резерфорд овладел теорией вероятности. Согласно его собственным расчетам имелся шанс, правда, весьма слабый, что альфа-частица при прохожде-

нии через мишень из атомов встретит на своем пути сначала один электрон, затем другой, третий и т. д. Суммарное воздействие столкновений выразится в отклонении частицы от своего первоначального направления на значительный угол, например на 45°. Но такая возможность, действительно, была очень невелика.

Это и явилось той самой «небольшой исследовательской работой», которую Резерфорд предложил Эрнсту Марсдену. Марсден должен был бомбардировать атомы альфа-частицами, чтобы установить, рассеиваются ли они на большие углы или нет. Как позже признался Резерфорд, были все основания предполагать, что Марсден потерпит неудачу. Однако попытаться все же следовало.

Итак, Марсден спустился в мрачный подвал лаборатории. Здесь по полу были проложены водопроводные трубы, о которые все постоянно спотыкались, а под потолком проходила еще одна труба как раз на такой высоте, чтобы удариться о нее головой. В подвале по указанию Резерфорда был установлен незамысловатый прибор, состоящий из стеклянной трубки с источником альфа-частиц, мишени и детектора. Альфа-частицы проходили через узкую щель в трубке в направлении мишени, изготовленной из тонкой металлической фольги (Марсден использовал золото), и попадали на флюоресцирующий экран, который служил детектором. Попадая на экран, альфа-частица вызывала слабую вспышку — сцинтилляцию. По положению вспышки на экране можно было установить, была ли рассеяна альфа-частица атомной мишенью и если да, то на какой угол. Прибор был установлен так, чтобы обнаруживать альфа-частицы, отклоняющиеся на угол 45° и больше.

Марсдену через микроскоп приходилось наблюдать тысячи крошечных мгновенных сцинтилляций. Работа была тяжелой и изнурительной. Перед началом эксперимента следовало около получаса пробыть в затемненной комнате, пока глаза не привыкнут к темноте. Сидя здесь и попивая так называемый лабораторный чай, сотрудники болтали и перебрасывались шутками. Резерфорд во время ежедневных обходов лаборатории часто присоединялся к ним. Самому ему не хватало терпения подсчитывать сцинтилляционные вспышки; однажды он попробовал это сделать, но «уже через две минуты чертыхнулся и ушел». (Ганс Гейгер, напротив, был «дьявольски работоспособен». В дальнейшем он изобрел счетчик, назван-

ный позднее его именем. В нем не требовался визуальный счет альфа-частиц: регистрация их осуществлялась с помощью электричества.) Хотя Резерфорд не подсчитывал сам сцинтилляций, тем не менее он являлся активным участником всей работы. Резерфорду принадлежала не только идея исследования и план его проведения. Он сам разрешил трудную проблему с аппаратурой и объяснил всем в аудитории и в лаборатории, какая цель поставлена перед ними. Кто, как не Резерфорд, бушевал, когда аппаратура оказывалась испорченной, а в случае удачи вышагивал по лаборатории, победно напевал «Вперед, солдаты Христа» (единственную мелодию, которую он знал), отчаянно при этом фальшивя.

В начале 1911 года, спустя несколько месяцев после завершения Марсденом порученной ему работы, ликующий Резерфорд разыскал Ганса Гейгера, горя желанием сообщить ему свою новость. С присущей ему патетикой он воскликнул: «Теперь я знаю, как выглядит атом!»

Вопреки всем ожиданиям, Марсден обнаружил, что из тысячи пропускаемых через золотую фольгу альфа-частиц лишь некоторые, очень немногие, отклонялись на значительные углы. Только одна или две из них изменяли первоначальное направление на угол, больший 90° (т. е. выходили из мишени с той же стороны, с которой попадали в нее). На основании произведенных расчетов Резерфорд был абсолютно уверен, что наблюдаемые рикошеты не могли быть обусловлены столкновением альфа-частицы с электроном. Чем же тогда они вызваны? Атомная модель Дж. Дж. Томсона не давала ответа на этот вопрос.

Проще всего было предположить, что Марсден допустил в эксперименте ошибку или что столь странный результат вызван каким-то неизвестным фактором, например наличием радиоактивной примеси. Причин для ошибки было более чем достаточно, и многие на месте Резерфорда вообще не обратили бы на это никакого внимания. Однако Резерфорд, обладавший огромным талантом различать, что в исследованиях достоверно, а что ложно, не пришел к такому выводу. Он вполне серьезно воспринял результаты, полученные Марсденом. Ему казалось невероятным, что в атоме содержится нечто, способное отражать быстрые массивные альфа-частицы, «...почти столь же невероятным, как если б вы выстрелили пятнадцатидюймовым снарядом по листу папиросной бумаги и этот

снаряд отскочил бы назад и угодил в вас». Он тотчас же принялся выяснять, что могут означать полученные Марсденом результаты. Что заставляет отражаться альфа-частицы?

Проведенные расчеты показали, что альфа-частицы вступают во взаимодействие с необычайно сильным электромагнитным полем. Такое поле может быть создано электрическим зарядом, сконцентрированным в крошечном пространстве. Постепенно вырисовывалась гипотеза: положительное электричество вовсе не является жидкостью, равномерно распределенной в атоме, как считал Томсон. Оно сосредоточено в сердцевине атома, которая имеет огромную плотность.

Основываясь на этой гипотезе, Резерфорд задал себе следующий вопрос. Если известен центральный электрический заряд атома и количество альфа-частиц, летящих по направлению к нему на определенной скорости, то какова наиболее вероятная величина рассеяния? Сколько альфа-частиц сможет подойти на достаточно близкое расстояние к заряженной сердцевине атома. чтобы быть рассеянными на угол 20°? 45°? 60°? 90°? Математические расчеты Резерфорд сравнил с наблюдениями Марсдена и с ранее полученными данными. Совпадение было хорошим; он находился на правильном пути. Резерфорд просмотрел данные других экспериментов, чтобы убедиться, что они также подтверждают его гипотезу. И вот теперь, как заявил Резерфорд Гейгеру, он, наконец, знал, как выглядит атом. Однако гипотезу следовало проверить более тщательно, и Резерфорд, вместе с Марсденом и Гейгером, проводит новые опыты по рассеянию альфа-частиц. Более двух миллионов сцинтилляций подсчитали его два помощника, прежде чем работа была наконец завершена.

В мае 1911 года Резерфорд опубликовал первую статью о полученных им совместно с сотрудниками результатах и таким образом объявил об открытии ядра (как он позже назвал положительно заряженную сердцевину атома). На основе опытов по рассеянию альфа-частиц Резерфорд смог установить размер ядра: оно оказалось в десять тысяч раз меньше атома — во столько же раз, во сколько булавочная головка меньше огромной аудитории. Однако в ядре сосредоточена почти вся масса атома. Все остальное пространство вокруг этой крупинки занято пустотой, в которой нахо-

дятся электроны в количестве, достаточном, чтобы нейтрализовать положительный заряд ядра.

Атомная модель, появившаяся вследствие работ Резерфорда и его сотрудников, напоминала планетарную систему, так как сила, притягивающая планеты к Солнцу, подчиняется тому же основному закону, что и сила, удерживающая электроны около ядра атома. Как гравитационная, так и кулоновская сила убывают пропорционально квадрату расстояния. Отсюда следует, что электрон, притягиваемый положительным электрическим зарядом ядра, должен двигаться по тому же пути, по которому планеты вращаются вокруг Солнца.

Поистине поразительно: мир атома повторяет в миниатюре мир Солнца. Идея Резерфорда впоследствии легла в основу многих важных открытий в области строения вещества. И все же это было только начало. Что-то в планетарной модели строения атома было ошибочным. Что именно, вы узнаете в следующей главе. А прежде обратимся к прошлому, чтобы познакомиться с жизнью и деятельностью Эрнста Резерфорда — ученого, возглавившего первые исследования атома, человека, которого коллеги называли «неистовым», «вождем племени», «дикарем».

Резерфорду было сорок лет, когда он открыл атомное ядро. До этого он был удостоен Нобелевской премии, которая была присуждена ему за открытие самопроизвольного превращения радиоактивных элементов, открытие, привлекшее внимание физиков к проблеме строения атомов. Доказав существование ядра, Резерфорд внес еще один вклад в исследование атомной структуры.

Позже научная деятельность Резерфорда приняла драматический характер: вслед за открытием ядра он первым выбил из него составную часть*, обнаружив таким образом искусственное превращение одного элемента в другой.

Однажды, говоря о триумфах Резерфорда, которые следовали один за другим, кто-то из его друзей сказал ему:

---

* Имеется в виду протон. В опытах, проведенных Резерфордом в 1920—1924 годах по облучению атомов азота альфа-частицами, им было установлено образование протонов.— *Прим. перев.*

— Вы счастливый человек... Всегда на гребне волны! *

— Да, но я сам и поднимаю эту волну, не так ли?— ответил Резерфорд, которого нельзя было упрекнуть в излишней скромности.

Волна триумфов началась вскоре после того, как Резерфорд приехал в Англию, покинув свою родину, Новую Зеландию. Ему шел двадцать четвертый год. Он был крупным, смуглым, слегка курносым молодым человеком, со своими собственными убеждениями, которые высказывал открыто и в полный голос; с огромным стремлением преуспеть в науке, но без копейки в кармане.

Окончив Новозеландский университет, Резерфорд завоевал право на стипендию для стажировки в Англии, в Кавендишской лаборатории, которая была тесно связана с Кембриджем. В то время это была единственная в мире лаборатория, предназначенная специально для занятий экспериментальной физикой. Ее директором был тот самый Дж. Дж. Томсон, чью гипотезу о строении атома впоследствии опроверг Резерфорд.

Вскоре после приезда в Англию Резерфорд нанес первый визит своему непосредственному руководителю, профессору Томсону. Звания и титулы, включая и звание профессора, не очень-то много значили для Резерфорда как в то время, так и позже. Он с предубеждением относился к маститым ученым, занятым исключительно своей узкой специальностью. «Однако профессора Томсона, или Дж. Дж., как его все называли, нельзя было упрекнуть в том, что он превратился в «ископаемое», — писал Резерфорд в письме домой. — Он был дружелюбно настроен, «очень моложав (Томсону в то время было сорок лет) и скверно побрит».

Далеко не все в лаборатории Кавендиша встретили новозеландца так же тепло, как Дж. Дж. Томсон. Кембридж сравнительно недавно распахнул свои двери перед молодыми людьми из британских колоний, окончившими высшие учебные заведения, и многие англичане из метрополии были полны негодования оттого, что им надо делить стипендии и хорошие места с «пришельцами». В Кавендишской лаборатории им приходилось

---

* Игра слов: в переносном смысле выражение «on the crest of the wave» означает «на вершине славы».— *Прим. перев.*



Эрнст Резерфорд в возрасте двадцати одного года, за три года до приезда в Кавендишскую лабораторию.

вместе работать, пользоваться одними и теми же приборами и инструментами, которых вследствие большой бережливости Дж. Дж. Томсона вечно не хватало. Говорили, что «в Кавендише, готовя эксперимент, надо было левой рукой собирать прибор, а правой держать обнаженный меч».

Пришелец из Новой Зеландии был не только чужаком, у него к тому же полностью отсутствовали признаки, по которым образованный, полный чувства своего классового превосходства англичанин узнавал себе подобного. Имя Резерфорда им ничего не говорило (его отцу принадлежала лесопилка, и он сам на ней работал); Резерфорд не очень следил за своими манерами, плать-

ем, речью. Наконец, он прибыл из страны, лишь недавно ставшей британской колонией. Вообще говоря, англичане считали Новую Зеландию поистине забытой богом дырой. Она была им известна когда-то воинственным племенем маори да птицами киви.

Вскоре после визита к Томсону Резерфорд приступил к работе. Вместо того чтобы попросить своего руководителя порекомендовать ему тему для исследования, как это обычно делали многие другие молодые ученые, он начал действовать самостоятельно. Прежде всего он предпринял экспедицию по сбору деталей для своего прибора, что, несомненно, не увеличило его популярности. Обзаведясь необходимыми деталями, он сконструировал детектор радиоволн — примитивный радиоприемник, который был изобретен им в Новой Зеландии, вскоре после того, как были впервые обнаружены электромагнитные волны. Как и Маркони, но еще до изобретения последнего, Резерфорд предвидел практическое использование этого открытия в будущем *.

Томсон заинтересовался предложенным Резерфордом планом исследования. Некоторые из коллег молодого ученого буквально «скрежетали зубами от зависти» и исподтишка старались помешать его работе. В письме домой Резерфорд писал об одном студенте, «на груди которого он желал бы отплясать боевой танец маори». Он писал также, что ему предстоит выдержать трудный конкурс в Кавендише: «Среди огромного числа людей, жаждущих отхватить от науки лакомый кусок, довольно трудно выдвинуться». Но ему это удалось совершить в исключительно короткий срок. В жизни Резерфорда не было долгих лет борьбы за признание.

Он горел желанием добиться успеха в физике. Если его работа будет признана, перед ним откроется путь наверх, в профессуру. Тогда он сможет расплатиться за долги, сделанные в связи с поездкой в Англию, и, что самое важное, — жениться на Мэри Ньютон, девушке, которую он любил и которая оставалась в Новой Зеландии. В одном из своих длинных писем, адресованных Мэри Ньютон, Резерфорд писал, что он хочет, чтобы хоть одна из его научных статей была романом, тогда он

* Изобретателем радио является А. С. Попов, предложивший применять электромагнитные волны для беспроволочной связи за два года до Маркони.— *Прим. перев.*

смог бы посвятить его ей, а в другом, — что по приезде в Англию он часто ходит небритым: «У меня отсутствует стимул следить за тем, чтобы щеки не кололись».

Прошло всего две недели, и Томсон понял, как он позже признался, что его новый подопечный «обладает исключительно выдающимися способностями и напористостью». Он полюбил прямолинейного бесхитростного молодого человека. И Резерфорд с гордостью пишет Мэри Ньютон, что приглашен выступить с демонстрацией своего детектора перед «избранным обществом у Дж. Дж.». Резерфорд имел успех; последовали новые приглашения. «Я становлюсь очень полезным ему (Дж. Дж.), — пишет он Мэри, — особенно когда он составляет отчеты для различных научных деятелей о работе молодых исследователей в своей лаборатории. Поразительные результаты, полученные с радиоволнами, вполне его устраивают».

Благодаря своему детектору, принимающему радиоволны на расстоянии около полумили, Резерфорд приобрел известность в Кембридже. Научные сотрудники, ранее относившиеся к нему весьма прохладно, теперь на каждом шагу предлагали свою помощь и доверительно делились с ним проектами собственных научных исканий. «Такова жизнь», — резюмировал Резерфорд.

Сам Резерфорд вовсе не был в таком уж восторге от изобретенного им детектора. Когда Томсон предложил ему заняться совместно изучением рентгеновских лучей, Резерфорд отложил детектор в сторону, хотя и предполагал, что тот мог бы принести ему деньги. (Резерфорд оказался прав — на улучшенной конструкции радиоприемника Маркони нажил себе состояние.) Резерфорда заинтересовала тема, предложенная Томсоном. Он прекрасно понимал, что изучение природы излучения — настоящая физика, а совершенствование детектора радиоволн — инженерное дело.

Шел 1896 год. Вильгельм Рентген совсем недавно объявил об открытии им лучей, которые назвал Х-лучами, поскольку их свойства были неизвестны. В отличие от многих других важных открытий оно сразу произвело сенсацию. С помощью Х-лучей Рентген сфотографировал скелет кисти своей руки и кусочки металла, помещенные в деревянный ящик. Повсюду ученые повторяли опыты Рентгена, чтобы «увидеть, — как выразился Резерфорд, — свои кости». Открытие взбудоражило Кавен-

дишскую лабораторию. «Теперь едва ли не каждый профессор в Европе ступил на тропу войны, — писал Резерфорд Мэри, — так как очень важно первым теоретически объяснить это явление».

Следует заметить, что Резерфорду и Томсону не удалось дать теоретическое объяснение рентгеновскому излучению, однако их работа имела важное значение, так как одно изученное ими свойство лучей впоследствии сыграло решающую роль в исследованиях атома. Первым это свойство обнаружил Рентген, заметивший, что лучи делают газ проводником электричества. А Резерфорд и Дж. Дж. Томсон выяснили причину явления. Оказалось, что при прохождении через газ, например воздух, лучи вызывают образование ионов (частиц, несущих электрический заряд). В дальнейшем ионизирующее свойство рентгеновских лучей помогло Томсону измерить заряд и массу электрона, а Резерфорду понять явление радиоактивности.

Но эти открытия были сделаны позже, когда ученые уже работали отдельно друг от друга. Их совместные исследования продолжались шесть месяцев, в течение которых Резерфорд выполнял бо́льшую часть экспериментальной работы. Томсон руководил, но не ставил сам опыты. Его сын, Джордж Томсон (тоже физик и лауреат Нобелевской премии), объяснил причину: «Дж. Дж. был удивительно неловок... и хотя он обладал необыкновенной способностью замечать недостатки в конструкции прибора, лучше было не просить его исправить их».

У Резерфорда, напротив, были золотые руки. Грубые на вид, производившие, как говорят, «очень странное впечатление», они были поразительно приспособлены для экспериментальной работы. Один из сотрудников так сказал о Резерфорде: «Никакой суеты и минимум возможной ошибки». Другой его коллега, А. С. Рассел, прекрасно сформулировал эту способность Резерфорда: «Одним движением издалека Резерфорд, так сказать, сразу попадал ниткой в ушко иголки». Экспериментальное чутье вместе со способностью выбирать из множества беспорядочных явлений факт, заслуживающий внимания, — вот что являлось величайшим талантом Резерфорда-физика. Этим двум качествам сопутствовало умение достичь глубоких познаний путем довольно простых размышлений и использования сравнительно несложных экспериментальных средств.

После того как было закончено изучение ионизирующего свойства рентгеновских лучей, Резерфорд не вернулся к своему радиоприемнику. Он использовал приобретенный им опыт экспериментальной работы для того, чтобы начать самостоятельное исследование ионизирующих свойств излучения другого вида — ультрафиолетового света. Покончив с этим, он принялся изучать еще один вид радиации — излучение, испускаемое радиоактивным элементом ураном. В его научной деятельности последнее явилось поворотным пунктом.

Радиоактивность была открыта спустя несколько месяцев после обнаружения рентгеновских лучей. Анри Беккерель, занятый исследованием их свойств, в какой-то степени случайно обнаружил, что уран испускает проникающие лучи неизвестного вида. Когда он объявил о своем открытии, физики были настолько заняты рентгеновскими лучами, что лишь немногие — среди них Мария Кюри — решили довести до конца дело, начатое Беккерелем. Спустя два года ситуация коренным образом изменилась: в 1898 году Мария Кюри сообщила о новых радиоактивных элементах, один из которых — радий — оказался в несколько миллионов раз более радиоактивным, нежели уран. Это сообщение сразу привлекло к себе внимание физиков и химиков, и вскоре образовалась группа ученых, называвших себя «радиоактивными». Радиоактивность сделалась модной темой в физике, как позже ею стал атом, а затем ядро.

И всегда Резерфорд оказывался на старте: он интуитивно выбирал актуальнейшую проблему и тотчас же начинал ею заниматься. Так, совместно с Томсоном Резерфорд разработал методику, необходимую для более глубокого изучения явления радиоактивности, тем самым подготовив почву для нового открытия. Вскоре, исследуя ионизирующее свойство излучений урана, он узнал нечто важное: оказывается, уран испускает лучи двух совершенно различных видов. Первые, которые он назвал «альфа-лучами», легко поглощаются веществом, тогда как вторые — «бета-лучи» — имеют гораздо более высокую проникающую способность. Третьи, еще более проникающие лучи — «гамма» — были обнаружены спустя год другим физиком. Так как природа лучей была неизвестна, Резерфорд решил назвать их первыми буквами греческого алфавита. Он надеялся изучить их подлинную природу.

В самый разгар работ по радиоактивности Резерфорду предложили хорошую должность, которая, однако, имела свои отрицательные стороны. Предложение исходило от Мак-Гилльского университета в Монреале, где открылась вакансия профессора физики. На первый взгляд, это и была та самая благоприятная возможность, которую так ждал Резерфорд: он станет профессором (это в двадцать семь-то лет!) и будет зарабатывать вполне достаточно, чтобы жениться. «В Мак-Гилльском университете, — писал он домой, — превосходная лаборатория». И все же он колебался. Ведь тогда придется покинуть Кавендиш, покинуть ту часть света, где происходили великие события в физике.

В то время во всем мире насчитывалось менее четырехсот физиков, и почти все они работали в каком-либо университете на Британских островах или в Европе: в университетах Кембриджа, Берлина, Геттингена, Парижа и т. д., где они преподавали и вели экспериментальную работу. Эти университеты были расположены относительно недалеко друг от друга, и физики могли часто встречаться, чтобы обмениваться полученными результатами, сравнивать их, задавать друг другу вопросы. Такие встречи представляли большую ценность. Тогда, впрочем как и сейчас, служитель науки должен был возможно быстрее получать информацию, если он желал извлечь пользу из работ других исследователей и избежать дублирования. Невозможно было находиться в курсе научной жизни, ограничиваясь чтением статей в научных журналах. Публикации работ задерживались на недели и даже месяцы. Чтобы находиться в центре научных событий, необходимо было поддерживать непосредственный контакт с другими учеными.

Однако Мак-Гилл и Европу разделял огромный океан. В Канаде и в Соединенных Штатах Америки почти не проводились физические исследования, лишь несколько ученых, отделенных друг от друга большими расстояниями, работали почти в полной изоляции. Научные журналы доставлялись сюда с опозданием: почти все они издавались в Европе или в Великобритании. Отъезд в Канаду, как однажды признался Резерфорд своему старому другу, ставил крест на «физическом мире». Хотя он под этим подразумевал только мир физики, а не самую жизнь, для таких людей, как он, эти понятия были почти равноценны.

Должность профессора в Мак-Гилле была предложена Резерфорду во многом благодаря влиянию Дж. Дж. Томсона, и молодой человек предполагал, что если он останется в Кавендише и будет ждать, Дж. Дж. поможет ему получить место в каком-нибудь другом университете, не так далеко расположенном от «физического мира». Быть может, разумнее отказаться от этого предложения? Резерфорд взвесил все за и против и решил в пользу Мак-Гилла. Его натуре было несвойственно терпеливо ждать, питать одни надежды, а поскольку он к тому же хотел жениться, ему следовало быть практичным. Стоит ему стать профессором в Мак-Гилле, как другие университеты скорее предложат ему кафедру, если у них откроется вакансия.

Итак, он пишет Мэри Ньютон: «Порадуйся вместе со мной, моя дорогая,... ибо теперь наша свадьба не за горами». (Они поженились спустя два года.) В том же письме он делится с ней и своей тревогой: «Думая о должности профессора, я чувствую себя еще совсем ребенком... Мне придется надзирать за работой других, и это звучит для меня просто-таки комично, однако надеюсь, все будет в порядке. В лаборатории как будто четверо сотрудников, некоторые из них — мои сверстники, а я буду обязан ими руководить».

За несколько лет до наступления двадцатого века Резерфорд покинул Кавендиш и отплыл в Канаду (через Новую Зеландию). Он возвратился в колонии, из которых вышел. В Мак-Гилле, исполняя обязанности профессора и возглавляя лабораторию, Резерфорд не оставил своих исследований радиоактивности, занимаясь проблемами, которые пытались разрешить другие физики, в том числе были Анри Беккерель и супруги Кюри. Но, несмотря на трудности дистанции, он намеревался «продолжать состязание в беге».

Эрнст Резерфорд. Радиоактивность

Поистине, это замечательная жизнь.
Лорд Резерфорд

В письме к Мэри Ньютон Резерфорд выразил сомнение в своих организаторских способностях. Однако, оказавшись на месте, Резерфорд быстро приспособил Мак-Гилльскую физическую лабораторию для исследования радиоактивности, и вскоре некоторые уже слышали, как он хвалил одного из своих сотрудников — человека на восемь лет старше себя: «Гуд бой!»* Так началась яркая и продолжительная деятельность Резерфорда — научного руководителя.

В нем горел спортивный азарт: «Наука являлась для него «состязанием» с другими спринтерами,... всегда находящимися рядом на беговой дорожке». Но целью состязания не являлись призы (хотя и они доставляли ему удовольствие). Резерфорд страстно желал открыть новое. Читая лекции, он больше любил беседовать со студентами о нерешенных проблемах в физике, включая и свои собственные исследования, чем объяснять работы, уже выполненные в прошлом.

В результате его студенты оставались совершенно несведущими в тех вопросах, которые им полагалось знать. Более того, они должны были работать в лаборатории по заданиям, которые непосредственно касались темы, интересующей Резерфорда, хотя иногда студенты были недостаточно или даже совсем не подготовлены к этому. Темы следовали одна за другой — слишком быстро, как недовольно замечали некоторые. «Продолжайте», — всегда говорил им Резерфорд.

Бывшие его студенты по Мак-Гиллу и другим университетам часто вспоминали о своих занятиях у Резер-

* Хороший мальчик! (*англ.*).

форда, иногда критикуя его. Один из них рассказывал: «Я никогда не встречал человека, который так моментально выходил бы из себя из-за малейшего пустяка, как Резерфорд; правда, он всегда потом просил прощения». Но в основном все они очень тепло отзывались о своем научном руководителе, «у которого не было никаких существенных недостатков», который «всегда бывал внимателен даже к первокурснику и выслушивал его так же терпеливо, как и... признанное научное светило», который давал им почувствовать, что «они находятся в самом центре научной жизни». Для Резерфорда наука всегда была как бы состязанием в беге, в котором он был не единственным его участником. Несмотря на изоляцию от «физического мира», он, живя в Канаде, не сходил с беговой дорожки.

Г. Р. Робинсон, в свое время учившийся у Резерфорда, так впоследствии описал один из длинных субботних вечеров, проведенных ими вместе в лаборатории. Они пытались очистить от остатков жидкого воздуха образец радиоактивного элемента, с которым собирались работать дальше. Их постигла неудача из-за неловкого движения Резерфорда, который незамедлил тут же сказать: «хорошо, что это натворил я, а не вы». Помогая профессору привести лабораторию в порядок и сожалея о пропавшем уик-энде, Робинсон пребывал в дурном настроении, отнюдь не Резерфорд. Спокойно посасывая трубку, он сказал: «...А знаете, Робинсон, мне очень жаль бедняг ученых, не получивших в свое распоряжение лабораторию».

Этот случай произошел, когда Резерфорд, покинув Мак-Гилл, находился уже в зените славы. Вскоре он стал «сэром Эрнстом», а затем и «лордом Резерфордом».

Итак, приехав из Англии в Мак-Гилл, Резерфорд продолжал исследовать альфа- и бета-излучения. Мария и Пьер Кюри, Анри Беккерель и другие «спринтеры» уже раскрыли природу «его» бета-лучей. Оказалось, оно не было излучением в обычном понимании этого слова, как считали раньше: бета-излучение состояло из электронов, движущихся с огромной скоростью, близкой к скорости света. В таком случае что же представляют собой альфа-лучи? Резерфорд установил, что они также состоят из частиц, движущихся с высокой скоростью, обладают гораздо большей массой, чем бета-частицы — электроны, и несут положительный заряд. Что это за

частицы? Он был почти уверен, что нашел ответ на вопрос, когда узнал, что в минералах, содержащих радиоактивные элементы, обычно обнаруживают следы элемента гелия. Прошло десять лет, прежде чем он смог доказать правильность своей догадки на спектре, полученном им в Манчестере. Оказывается, альфа-частицы являются положительно заряженными ионами гелия (или ядрами гелия, как мы сейчас говорим).

Изучение радиоактивности, природы альфа-частиц вызвало целый поток новых вопросов. И среди них самым основным был вопрос: откуда берется огромная энергия излучения? Еще не было установлено, что огромная энергия заключена в самом атоме, считалось, что радиоактивные вещества поглощают ее каким-то образом из окружающего внешнего пространства. Такое предположение мешало четкому пониманию явления радиоактивности. Ученые накапливали все больше и больше сведений о свойствах альфа- и бета-частиц, находили все новые и новые радиоактивные вещества, кроме открытых ранее Марией Кюри. Но существует ли связь между радиоактивностью и вновь открытыми веществами? Являются ли они химическими соединениями, комбинацией уже известных атомов, или это новые элементы, новые разновидности атомов? Экспериментальные открытия еще не были правильно истолкованы. Другими словами, еще не была создана общая теория радиоактивности. Ее разработают потом Резерфорд и его молодой сотрудник из Мак-Гилла Фредерик Содди.

Содди было двадцать три года, когда в 1900 году он начал работать с Резерфордом. Он приехал в Мак-Гилл преподавать химию тоже из Англии. Резерфорду нужен был химик, так как при исследовании явления радиоактивности требовалось умение проводить химическое отделение одного элемента от других. Прошло всего несколько недель после «моего приезда в Мак-Гилл, как Резерфорд... полностью завладел мною, — рассказывал Содди. — Я забросил все, чтобы работать с ним, и более двух лет нашего сотрудничества превратились в такое творческое горение, какое редко случается в жизни человека».

Содди обнаружил, что новозеландец невысокого мнения о химии как о науке, впрочем, как и о других естественных науках вообще; исключение составляла одна физика, которая, по мнению Резерфорда, являлась

наукой всех наук. Физика рассматривает серьезные проблемы; это всеобъемлющая наука; другие же науки, считал он, изучают отдельные детали, частные случаи. Хотя Резерфорду были крайне нужны знания Содди относительно этих «деталей» (и он извлек много пользы из теоретических способностей Содди), тем не менее ему доставило удовольствие доказать, что физик может победить химика на его собственном поприще.

Однажды, желая убедить Содди в своей правоте, Резерфорд решил показать, что можно отделить один элемент от другого без применения какого-либо химического метода. Сначала он всыпал двуокись тория — белое тугоплавкое вещество в воду, в целые галлоны воды. Затем с мрачной решимостью стал их встряхивать — процесс был весьма утомительный. Наконец, выпарил *всю* воду. Страшно довольный, он показал Содди конечный результат своего физического труда — незначительное количество нового вещества, незадолго до этого открытого им с Содди, — тория X.

В период напряженного совместного сотрудничества двое ученых опубликовали ряд статей, которые вместе и составляют теорию радиоактивности. Первым ключом к разгадке явления радиоактивности послужила работа одного из студентов Резерфорда по измерению ионизирующей способности радиоактивного тория, имеющего определенную степень радиоактивности. При проведении опыта возникли трудности: в различное время показания электроскопа не совпадали. И что самое любопытное — казалось, что степень ионизации зависит от того, открыта дверь в лабораторию или закрыта. Это очень заинтересовало Резерфорда. Вскоре он объяснил причину явления, обнаружив, что торий излучает радиоактивный газ (называемый теперь тороном). Когда дверь в лабораторию была закрыта, газ не улетучивался, и его радиоактивность как бы повышала радиоактивность самого тория, а когда дверь была открыта, газ благодаря потокам воздуха распространялся по всей лаборатории. Физик П. Блэккет так комментировал этот случай: «Пусть каждый молодой ученый смотрит в оба... и помнит, что вызывающие раздражение постоянные ошибки в показаниях прибора могут порой таить в себе важное открытие».

Дальнейшее изучение торона показало, что он не сразу образуется *непосредственно* из тория: промежуточ-

ным веществом является упомянутый выше торий X. Итак, торий превращается сначала в торий X, а затем в торон. Тогда вполне возможно, что все атомы радиоактивных элементов, испуская альфа- или бета-частицы, спонтанно превращаются в атомы иного вида — другие элементы. А они, в свою очередь, также распадаются с образованием новых элементов. Энергия радиоактивности является энергией самого атома, которая выделяется при его изменении, или, используя научную терминологию, при радиоактивном распаде атома.

Теперь Резерфорд и Содди могли объяснить экспериментальные данные. Они установили, что существуют три основных семейства радиоактивных элементов: первое начинается с тория, второе — с актиния, а третье — с урана. Все другие радиоактивные элементы являются вторичными элементами, продуктами радиоактивного распада этих трех элементов. Так, радий — один из продуктов распада урана.

В теории радиоактивности Содди и Резерфорда был один значительный пробел. В ней ничего не говорилось о времени, которое требуется на то, чтобы определенный радиоактивный атом испустил частицу и претерпел изменение. Оставалось неизвестным, что вызывает процесс распада. Попытки ускорить или замедлить процесс терпели неудачу. Ни тепло, ни холод, ни другие внешние условия не оказывали никакого влияния на скорость радиоактивного распада. Скорость распада не изменялась, когда один радиоактивный элемент соединялся с другим, образуя химическое соединение. Возраст атома также не имел к этому отношения. Скорость распада радия оставалась неизменной независимо от того, существовал ли атом радия тысячу лет или он появился при распаде более тяжелого атома. Было ясно, что радиоактивный распад зависит от внутреннего строения атома (т. е. происходит вследствие расщепления ядра, как было позже установлено), но причина, вызывающая распад, оставалась неизвестной. Вот почему теория радиоактивности не могла предсказать поведение любого отдельного атома.

Изучая скорость радиоактивного распада, Резерфорду и Содди приходилось использовать статистические методы, в известном смысле подобные методам, которые применяются страховыми компаниями для установления продолжительности человеческой жизни. Так как невоз-

можно установить, сколько проживет тот или иной человек, страховое агентство определяет среднюю величину, используя статистические данные о продолжительности жизни миллионов людей. Аналогичным способом Резерфорд и Содди обработали данные по скоростям распада для различных радиоактивных атомов. Так, они установили, что период полураспада радия равен приблизительно 1600 годам. Это означает, что половина взятого большого количества атомов радия через 1600 лет превратится в радон — следующий продукт распада радиоактивного семейства урана. Теория позволяет точно определять скорости радиоактивного распада, но только для тех элементов, атомы которых взяты в огромном количестве. Об отдельных атомах она не говорит ничего.

В то время, когда впервые были установлены скорости радиоактивного распада, предполагалось, что экспериментальным путем можно получить ответ на вопрос: «Что вызывает начало радиоактивного распада атомов?» Сейчас физики уже не ищут ответа на данный вопрос. Они рассматривают теорию радиоактивности Резерфорда и Содди как первые шаги атомной физики. Их теория не способна была предсказать, что происходит с отдельными атомами, а только объясняла поведение большой группы тождественных атомов. Позднее мы еще коснемся этого аспекта работы Резерфорда и Содди.

Теория радиоактивности, выдвинутая двумя учеными более полувека тому назад, до настоящего времени в основном не претерпела существенных изменений. К ней было много добавлено, но ничего не исключено. Теперь такие понятия, как атомная энергия, превращения атома, общеизвестны. Однако в 1902 году они казались неестественными и неправдоподобными. В последующие годы Резерфорд и другие физики накапливали все больше и больше фактов, подтверждающих их теорию, так что постепенно она получила признание ученых. Но вначале было много скептиков, особенно среди химиков и старшего поколения физиков, включая даже таких ученых, как супруги Кюри.

«Каждый готов был наброситься на меня в те дни», — вспоминал Резерфорд. Одним из наиболее известных его противников был великий английский физик лорд Кельвин, которому в то время было больше восьмидесяти лет. Еще до открытия Резерфорда он определил возраст Земли на основе теплопроводности, исходя из представ-

ления * об охлаждении Земли. Резерфорд же заявил, что если принять во внимание внутриатомную энергию, высвобождаемую при радиоактивном распаде, то для охлаждения Земли потребовалось бы гораздо больше времени, чем было установлено Кельвином. Используя новую методику, Резерфорд получил иное значение возраста Земли. Он измерил содержание гелия в образце уранинита — минерала, из которого добывают радий и уран. Зная скорость распада семейства урана с образованием альфа-частиц (которые, как он считал, являются гелием), он смог подсчитать время существования этого минерала.

Защищая свою собственную работу, Кельвин (без всякого на то основания) утверждал, что новая теория Резерфорда абсолютно неправильна. Радий не элемент, говорил он, а всего лишь молекулярное соединение свинца и гелия, которое аккумулирует энергию, поглощая «эфирные волны».

Резерфорд лицом к лицу столкнулся со своим давнишним противником в Англии, куда он приехал на конференцию физиков. «Лорд Кельвин, — писал он жене, — с утра до вечера говорит о радии, и я восхищаюсь его завидной самоуверенностью спорить о предмете, который он не дал себе труда изучить основательно».

В то время ученые часто показывали эффектные опыты с вновь открытыми радиоактивными элементами. На вечере, состоявшемся во время конференции, Резерфорд продемонстрировал, как излучение радия заставляет светиться в темноте фосфоресцирующее вещество. Лорд Кельвин наблюдал. «Он был в восторге»,— написал домой Резерфорд, добавив, что старик «отправился спать, очень довольный тем, что я дал ему немного фосфоресцирующего вещества».

Из писем Резерфорда видно, что если возражения почтенного физика почти не уменьшили огромную самоуверенность молодого новозеландца, то критические замечания других доводили его до бешенства. Резерфорд справедливо отмечал, что в то время «некоторые из его лучших друзей были химики». Один из них, Бертрам Б. Болтвуд из Йельского университета, также занимался изучением радиоактивности. Двое ученых часто переписывались. Однажды Резерфорд написал своему другу-хи-

* Теперь уже устаревшего.— *Прим. перев.*

мику, что в научиых журналах он прочитал статьи, в которых критиковалась его теория как якобы недостаточио обосиоваиия экспериментально. Ведь авторы этих статей — «проклятые дураки, которые, я думаю, некогда были химиками»,— кипел от злости Резерфорд. «Простите, вы тут ии при чем»,— спохватился ои, вспомиив, что сам Болтвуд тоже химик, а затем продолжал иегодовать, что авторы статей «не имеют ни малейшего представлеиия о том, что... у его теории не меиьше доказательств, нежели у кииетической теории, . . . и гораздо больше, чем у электромагиитиой теории, ио последние две оии прииимают на веру безоговорочио».

Тем не меиее иовая теория вскоре получила официальиое призиаиие. Резерфорду ие пришлось проводить, как миогим другим физикам, двадцать или более лет в ожидаиии наград. Никто иикогда не отворачивался с презрением от премии, особеиио если ей сопутствовала золотая медаль, так и Резерфорд в 1908 году был счастлив узнать, что ему присуждеиа Нобелевская премия за «исследоваиие по дезиитеграции элементов и химии радиоактивиых веществ». Награда «очеиь приятна и с точки зреиия оказанной чести, и в смысле иаличных», — писал ои матери.

Меиее приятным для иего был тот факт, что Нобелевская премия была присуждеиа ему за работу по химии *, а ие по физике. В традициоииой речи, представляемой каждому лауреату Нобелевской премии, Резерфорд едко заметил, что при изучеиии радиоактивиости ему приходилось иаблюдать весьма различиые траисмутации, ио еще ии разу ои ие был свидетелем такого быстрого превращеиия, как его собствеиное превращеиие из физика в химика.

Резерфорду было тридцать пять лет, когда ои вериулся в Аиглию, где и прожил всю свою остальиую жизнь. Ои работал в Мак-Гилле, пока ему ие предложили место профессора, удовлетворявшее всем его условиям: близость к европейскому цеитру физической мысли и хорошо осиащеииая лаборатория. Маичестерский уииверситет

* В то время любые исследоваиия элемеитов считали предметом химии. Вот почему Резерфорд был удостоеи Нобелевской премии по химии. Сейчас ситуация корениым образом измеиилась, и химию полушутя называют иногда одним из разделов физики.

предоставлял ему и то, и другое. Именно там Резерфорд открыл атомное ядро.

Произошло это в 1911 году, а в 1914 году началась первая мировая война, и почти все исследования в Манчестере прекратились. Марсден сражался за Англию, Гейгер — за Германию. Г. Мозли, один из самых талантливых учеников Резерфорда, был убит в битве при Галлиполи.

Короткий период с 1911 по 1914 год был золотым периодом работы Резерфорда в Манчестере. Поскольку в основу всех исследований легла новая атомная модель с ядром, открытия посыпались, как из рога изобилия, как говорили, «по одному в неделю», и в лаборатории часто можно было слышать знакомую мелодию «Вперед, солдаты Христа», которую напевал, все так же отчаянно фальшивя, во время своих ежедневных обходов большой краснолицый новозеландец.

Когда наступал полдень, Резерфорд и его исследовательская «команда», попивая чай, обычно обсуждали текущую работу и намечали планы на будущее. Они живо обменивались мнениями, и никого не беспокоило, что коллега может воспользоваться чужой идеей, быстрее претворить ее в жизнь, опередить в публикации полученных данных и таким образом первым добиться успеха. Такие страхи были необоснованными. Открытие атомного ядра предоставило неисчерпаемые возможности для исследователей. У каждого было множество превосходных идей. «Не имело почти никакого значения,— рассказывал Марсден, — кто выполнял работу и опубликовывал полученные результаты. Для всех находилась прекрасная пожива и никто не отталкивал соседа в погоне за лакомым куском».

Однако за стенами Манчестерской лаборатории ситуация была иной. Лишь некоторые физики уяснили значение новой атомной модели. И Резерфорд в какой-то степени сам был повинен в этом, так как в своих публикациях не показал, какое важное значение имеет его работа. Открытие атомного ядра, казалось, было только следствием его работ по рассеянию и ничем иным. Он не привел достаточно веских доказательств в пользу своей гипотезы, например не попытался объяснить известные химические свойства элементов на основе атомной модели. А модель Дж. Дж. Томсона *объясняла* некоторые химические свойства. Физики, занимавшиеся исследова-



Эрнст Резерфорд с двумя своими «мальчиками» — Э. Т. С. Уолтоном (слева) и Дж. К. Кокрофтом (справа) в начале 30-х годов, когда Кокрофт и Уолтон, работая под руководством Резерфорда в Кавендише, осуществили первое ядерное превращение с помощью искусственно ускоренных заряженных атомных частиц.

нием рассеяния альфа-частиц, знали об открытии Резерфордом атомного ядра. Но большинство физиков ничего о нем не слышали.

В то время лишь нескольких ученых интересовали исследования подобного рода. Прежде чем выдвинуть заслуживающую доверия гипотезу о строении атома, необходимо было накопить огромное количество экспериментальных доказательств. Последних, однако, не было (тогда так считали), и надежда получить их была невелика. По словам Э. Н. да Коста Андраде, физики тех дней полагали, что атом изучить экспериментально почти так же трудно, как далекую планету. В 1911 году было излишне спрашивать: «Есть ли жизнь на других планетах?» По-видимому, почти столь же бессмысленно звучал вопрос: «Что представляет собой атом?» О нем еще слишком мало знали.

Но в 1913 году произошло событие, которое коренным образом изменило положение вещей: один из учеников Резерфорда разрешил основную проблему строения ато-

ма и доказал, что физики были неправы, считая атом недоступным. Оказывается, *существовал* способ изучить строение и поведение атома, изучить точно и глубоко. Эта работа открыла путь к количественной стороне науки об атоме — точному инструменту, которым мы располагаем в настоящее время. В последующие годы атомные исследования заняли ведущее положение. Еще раз Резерфорд оказался на гребне волны, на сей раз благодаря работе своего ученика.

Молодого исследователя звали Нильс Бор. Впервые он увидел Резерфорда на званом обеде в Кембридже — ежегодном обеде, устраиваемом по традиции Кавендишской лабораторией, шумном празднике, когда студенты и уже окончившие университет молодые люди — воспитанники Дж. Дж. Томсона — встречаются вместе, произносят речи, едят, пьют, шутят и поют. В то время Бор был стажером у Томсона. Как и Резерфорд, но только спустя шестнадцать лет после него, он покинул свою родину — Данию ради того, чтобы работать в Кавендишской лаборатории над интереснейшими физическими проблемами.

На традиционном обеде молодой датчанин слышал, как Резерфорд шумно восхищался «самым оригинальным и удивительным прибором в истории науки» — ионизационной камерой Вильсона. В ней альфа-частицы ионизируют молекулы, с которыми сталкиваются на своем пути, а поскольку камера наполнена пересыщенным водяным паром, молекулы пара, конденсируясь на ионах, сгущаются в капли, что делает зримым путь альфа-частицы. Спустя много лет Бор вспоминал, какое огромное впечатление произвели на него «обаяние и сила личности» новозеландца.

По возвращении в Манчестер Резерфорд в письме к своему другу Болтвуду писал: «Бор покинул Кембридж и внезапно появился здесь, чтобы приобрести некоторый опыт в работе с радиоактивными веществами». Бор приехал в Манчестер ранней весной 1912 года, спустя всего несколько месяцев после открытия атомного ядра. Все его коллеги с увлечением работали над проблемами, возникшими в связи с этим открытием. Однако, несмотря на «нажим» со стороны Резерфорда продолжать работу в лаборатории, несмотря на то, что сам Бор любил экспериментировать и приехал в Манчестер именно с данной целью, его не привлекала перспектива получить легкую

и «хорошую поживу». Вместо разработки возможностей ядерной модели Бор предпочел заняться трудностями этой модели.

Как мы уже упоминали, в атомной модели, предложенной после открытия ядра, модели, описывающей атом как солнечную систему в миниатюре, имелись явные недостатки. Согласно модели Резерфорда, электрон притягивается к ядру противоположным электрическим зарядом. Поэтому электрон должен вращаться, двигаться (как планета) по эллиптической орбите вокруг ядра-солнца. Однако вращающийся электрон не может существовать. Вы зададите вопрос: почему? Да потому, что, согласно законам электродинамики, движущийся с ускорением заряд должен испускать электромагнитные волны, свет. Непрерывно вращающийся электрон также должен излучать; все атомы должны непрерывно излучать свет. Однако вещество в обычных условиях не светится. Последнее несоответствие являлось одним из слабых мест в планетарной модели атома; хотя был и другой недостаток, тесно связанный с первым. Вращающийся электрон, повторяем, должен непрерывно излучать. Теряя при этом энергию, он по спиральной траектории должен приближаться к ядру, подобно спутнику, который, преодолевая сопротивление воздуха, по спиральной кривой падает на Землю. Пройдут недели и месяцы, прежде чем спутник упадет на Землю; электрон же упадет на ядро за считаные доли секунды. Следовательно, атома нет, а есть только ядро. Таким образом, планетарная модель атома одновременно и отрицала возможность такой структуры. Противоречие разрешил Нильс Бор, заложив тем самым фундамент науки, которая в настоящее время носит название «атомная физика».

В одной из последующих глав мы еще вернемся к Нильсу Бору, к разрешенной им проблеме и к той роли, которую сыграл при этом Резерфорд. А пока прервем на время наш рассказ о Нильсе Боре, ибо ключом к решению задачи является квантовая теория, о которой мы еще ничего не говорили. Квантовая теория существовала уже тринадцать лет, когда, применив ее к атому, Бор показал связь квантовой теории с фундаментальной структурой материи.

В следующей главе мы заглянем в прошлое, расскажем о Максе Планке, который, настойчиво пытаясь разрешить проблему излучения, выдвинул теорию кванта.

По-видимому, правильнее было бы сказать, что он сделал это помимо своего желания, ибо, как мы позже увидим, он совершил свое открытие довольно любопытным образом. Рассказав о Максе Планке, мы не вернемся в Манчестер к Нильсу Бору, а познакомимся с человеком, который углубил и развил квантовую теорию Макса Планка, с человеком, который еще неоднократно появится на страницах нашей книги, — с Альбертом Эйнштейном. Экскурс в прошлое, перенос места действия из Англии в Германию, где родились Планк и Эйнштейн, заставят нас на время оставить не только поднятую нами проблему строения атома, но и ту область физики, в которой преуспел Эрнст Резерфорд. Мы расскажем о физиках, которые, как правило, не ставят опыты, о физиках-теоретиках, объясним, что такое теоретическая физика, расскажем о том, как эти люди работают. Вернувшись к Нильсу Бору, мы сможем понять, каким образом он использовал работы Планка и Эйнштейна и как его расширенная и измененная атомная теория стала в конечном счете той атомной теорией, которую мы знаем сегодня.

Макс Планк. В поисках «абсолюта». Закон энтропии

Автор новой концепции... убеждается, как правило, что легче открыть новую истину, чем выяснить, почему другие его не понимают.

Герман фон Гельмгольц

Приблизительно в то самое время, когда Эрнст Резерфорд занимался разработкой метода исследования строения вещества, другие экспериментаторы работали над улучшением техники измерения излучения. Они создали почти совершенный осциллятор, т. е. материальное тело, которое, будучи нагрето до высоких температур, излучает в определенных пределах все длины волн. Этот наиболее широкий из возможных спектр излучения, известный как «излучение абсолютно черного тела», использовался в качестве эталона при конструировании различных светильников.

Ученые, которых интересовала чистая наука, также проявляли интерес к спектру излучения абсолютно черного тела. Широкий диапазон цветов различной яркости, входящих в спектр, дает представление об энергетической структуре излучения. На спектр излучения абсолютно черного тела не оказывает влияния природа вещества излучателя или состояние его поверхности. Таким образом, спектр излучения абсолютно черного тела является совершенным, идеальным случаем. А если можно физически описать спектральное распределение плотности энергии излучения для идеального случая, можно кое-что узнать и о процессе излучения вообще. Итак, некоторые физики занялись проблемой излучения черного тела. Начав с предположений, основанных на законах классической термодинамики и оптики, они попытались вывести формулу энергетического спектра излучения. Эти попыт-

ки потерпели неудачу, так как привели к выводу, который стал известен как «ультрафиолетовая катастрофа». Логическое применение теории к частному случаю привело к формуле, которая не согласовалась с экспериментальными данными, полученными в ультрафиолетовой области спектра.

Из теории следовало, что абсолютно черное тело, нагретое до высоких температур, должно испускать бесконечно большое количество энергии в области высоких частот *, т. е. в ультрафиолетовой области спектра и за ее пределами. Если бы формула правильно описывала действительность, при сгорании куска угля или какого-либо другого вещества в топке должна была бы выделиться энергия в виде импульса предельно жесткого излучения.

В случае абсолютно черного тела, так же как и в случае атома, теория предсказывала катастрофу, которая в действительности не имеет места. Оба предсказания были сделаны на основе одного и того же предположения — предположения, что «развитие в природе происходит не скачкообразно», что испускание и поглощение энергии — непрерывно. В то время фактически каждое изменение, которое мог наблюдать человек непосредственно, т. е. с помощью своих органов чувств, казалось непрерывным. Так, раскачивающийся маятник останавливается постепенно и плавно; его движение не убывает скачкообразно. Нетрудно понять, что идея непрерывности в природе была вполне очевидной, бесспорной. Сейчас нам известно совсем другое: мы знаем, что микромир существенным образом отличается от предметов, которые нас окружают, и от событий, которые мы непосредственно наблюдаем. Современный физик научился оперировать понятиями, которые не согласуются с его повседневным жизненным опытом; понятиями, которые противоречат этому опыту.

Радикальный переворот в науке начался с формулы, которая правильно описывает спектральное распределение энергии излучения абсолютно черного тела, отрицая непрерывность изменения энергии. Макс Планк, человек, которому удалось вывести формулу, заложив тем самым основы квантовой теории, совершил это не вполне созна-

* Частотой волнового колебания называется число максимумов (или минимумов), проходящих через данную точку за определенный период времени. У короткой волны через эту точку проходит больше максимумов (т. е. у нее бо́льшая частота), чем у длинной волны.

тельно. Он не сказал себе: «Попытки вывести формулу излучения абсолютно черного тела оказались несостоятельными. В основе наших представлений о природе, очевидно, что-то неправильно. А что, если выдвинуть другое предположение, которое противоречит нашим чувствам и уровню современных знаний, обобщающих опыт человечества...» Нет, открытие Планка, как и многие другие научные открытия, было сделано в какой-то степени лишь благодаря счастливой случайности.

Планка, пожалуй, можно сравнить с первобытным человеком, который, желая найти наилучший способ проделать отверстия в разных материалах, затратил на это долгие месяцы, годы и даже десятилетия, перепробовал всевозможнейшие материалы и способы и совершенно случайно открыл способ добывания огня. Другими словами, Планк продолжал делать свое дело систематично, трудолюбиво, терпеливо. Со стороны кажется, что итогом такой кропотливой работы не может явиться что-либо важное, ценное. Очень трудно предвидеть великое открытие до того, как оно совершено. И вот произошло так, что скрупулезная и упорная работа Планка привела его к открытию «огня». В следующих главах мы узнаем, как это случилось.

Макс Планк полюбил физику с детства. Он навсегда запомнил тот день, когда на уроке в гимназии он впервые услышал об одном физическом законе. «Представьте себе, — сказал учитель, — рабочего, который поднимает тяжелый кирпич на верх строящегося дома. Затраченная им энергия не пропадает. Возможно, однажды, спустя много лет, кирпич расшатается и упадет вниз на голову случайного прохожего».

Мальчик был буквально потрясен подобной иллюстрацией закона сохранения энергии, может быть, в неменьшей степени, чем тот прохожий, на голову которого свалился бы злополучный кирпич. Ему стало ясно, что окружающий мир познаваем. Среди бесконечного множества сложных и разнообразных явлений человеческий ум в состоянии обнаруживать взаимосвязь, находить закономерность. Такая способность человека казалась Планку чудом; работу человеческого мозга по раскрытию законов природы он называл «грандиозной» работой по открытию чистой и абсолютной истины. Он решил, что непременно станет физиком.

Когда Планку исполнилось семнадцать лет и он готовился к поступлению в университет, ему удалось добиться встречи с деканом факультета. Он хотел поделиться с ним своей мечтой и узнать мнение ученого о полюбившимся ему предмете. Ответ был отнюдь не обнадеживающим: «Физика — область знания, в которой уже почти все открыто, — мрачно констатировал профессор. — Все важные открытия уже сделаны. Едва ли вам имеет смысл поступать на физический факультет».

Шел 1875 год. Законы движения Исаака Ньютона, открытые два столетия назад и послужившие началом развития физики, были распространены на тепло, звук, электричество, свет. Физики стали рассматривать Вселенную как гигантский механизм, основные действия которого им уже известны. Открытия, положившие конец подобным заблуждениям, еще не были сделаны. В конечном счете благодаря им физику 1875 года, которая сейчас называется «ньютоновой», или классической, станут позднее рассматривать как часть современной физики. Но во время беседы Планка с профессором классическая физика была единственной, и, по мнению большинства, последнее слово в ней уже было сказано. Для тех, кто еще надеялся совершить важное открытие, перспективы были весьма мрачными.

Таким образом, Планка в самом начале его научной деятельности постигло разочарование. В дальнейшем были и другие. Планка не ждало раннее признание, не оказалось и стремительной волны триумфов. У него не было ни лаборатории, ни сотрудников, ни учеников. В отличие от Резерфорда Планк работал в одиночестве. Эксперимент представлял для него интерес лишь как «сырье» для теоретических исследований. Говорили, что в своей жизни он не поставил ни одного опыта. Хотя эти слухи, возможно, и преувеличены, но, во всяком случае, не так уж далеки от истины.

Планк являлся полной противоположностью Резерфорду и как физик, и как человек. Он был в высшей степени аккуратен, сдержан и уравновешен. Говорил негромко, тщательно взвешивая каждое слово. Держался всегда сухо и официально, носил черный костюм и туго накрахмаленные сорочки.

Однако, как и Резерфорд, Планк был энергичным, работоспособным, преданным делу ученым. Обескураживающее замечание научного светилы, у которого он по-



Макс Планк в 1915 году. Тремя годами позже ему была присуждена Нобелевская премия за работу по излучению абсолютно черного тела.

просил совета, не отпугнуло его от физики. Более того, он стал заниматься термодинамикой — той частью физики, к которой другие ученые потеряли всякий интерес, полагая, что здесь уже все открыто и давно известно. В термодинамике он к тому же избрал раздел, к которому, по выражению одного из его коллег, «буквально никто никогда не проявлял интереса».

И тем не менее желания пребывать в неизвестности у Планка не было, напротив, он надеялся выдвинуться в научном мире. Планк не избрал своей профессией музыку, хотя и очень любил ее, так как считал, что не обладает выдающимися музыкальными способностями. Он не хотел быть просто «хорошим» композитором. Следовательно, избрав физику, Планк, очевидно, рассчитывал

стать физиком высшего ранга. Будучи очень требовательным к себе, он поставил перед собой высокую цель. Занимаясь альпинизмом, он всегда выбирал для восхождения самую высокую вершину, возможно, не столько ради тренировки или спортивного азарта, сколько желая выполнить поставленную перед собой задачу. Кстати, когда ему шел уже девятый десяток, Планк продолжал увлекаться альпинизмом и взбирался на вершины Альп.

Баварские Альпы со всех сторон обступают Мюнхен— южногерманский город, где вырос Планк и где провел свою юность Альберт Эйнштейн (последний был на двадцать один год моложе Планка). Оба они мальчиками видели одни и те же горы, покрытые березовыми и хвойными лесами и увенчанные снежными шапками; одни и те же прозрачные озера; слушали одну и ту же музыку, которая звучала в Мюнхене повсюду: в оперных театрах и концертных залах, тавернах и парках, где продавалось знаменитое пиво. Но если отец Эйнштейна был владельцем небольшого, приносящего одни убытки магазина и, по понятиям немецкого общества, был «никем», то отец Планка — профессор университета — являлся «важной персоной».

В те времена в Германии лишь принцам да баронам оказывалось большее уважение, чем профессорам. Семья профессора разделяла этот почет. Стоило его супруге (у нее также был свой титул: *фрау Профессор)* войти в магазин, как приказчик тотчас же откладывал в сторону все свои дела и, бросив остальных покупателей, все свое внимание уделял ей одной. На неофициальном Kaffeeklatsch, где собирались посплетничать и полакомиться пирожными, при появлении фрау Профессор дама гораздо старше последней немедленно вставала и предлагала ей свой стул, если муж этой женщины занимал более низкое общественное положение, чем профессор.

Мир, в котором рос Планк, был полон четких социальных градаций и незыблемых устоев. Члены семьи Планка, по прусским традициям, были преисполнены верноподданнических чувств. Они были убеждены, что кайзер имеет абсолютное право повелевать, а их долгом является работа, самопожертвование и повиновение. От своей семьи Планк унаследовал чувство глубокого уважения к закону и правосудию. Несколько поколений семьи Планков дали стране ученых-юристов и судей; они зарекомендовали себя справедливыми, неподкупными людьми.

Являясь выходцами из различных слоев немецкого общества, Планк и Эйнштейн по-разному относились к учебным заведениям, где они учились. Эйнштейн во время пребывания в гимназии восставал против палочной дисциплины, против неограниченной власти классных наставников, бесконечной зубрежки латыни и греческого языка. Планка же гимназия воодушевляла. Он воспринимал как должное абсолютную власть учителей, отсутствие свободы даже в выборе парты, позор, если ученик не знал ответа на заданный ему вопрос. Он полюбил греческий и латинский языки настолько, что одно время даже подумывал сделать их своей специальностью. Эйнштейн уже в гимназии подвергал сомнению основы физики, Планк же воспринимал ее законы как абсолютные истины.

Когда пришло время поступать в университет, Планк избрал университет в родном Мюнхене, где его отец читал лекции по юриспруденции и где многие профессора были друзьями его отца. Здесь, вскоре после неутешительной беседы с деканом, ему пришлось испытать еще одно разочарование. Планка привлекала теоретическая, а не экспериментальная физика, но в то время в Мюнхенском университете, как и в большинстве других университетов мира, не существовало такого факультета. Физики не были, как теперь, разделены на тех, кто главным образом создает приборы и проводит эксперименты, и тех, кто обобщает данные большого числа экспериментов и выводит физические законы. В Мюнхенском университете был математический факультет, где студенты учились оперировать математическими символами, что могло затем пригодиться в физике и в других науках *(если было известно, как это делать)*, и был физический факультет, где студенты повторяли эксперименты, которые некогда привели к важным открытиям. Теоретическую физику никто не преподавал. И хотя позже Планк, что для него весьма характерно, говорил, что навсегда сохранил о профессорах Мюнхенского университета «полную благоговения память», он был разочарован и через несколько лет решил перейти в другой университет.

В те годы студенты часто переходили из одного университета в другой. В университете студенты не были приписаны к какому-то определенному курсу, от них не требовали обязательного посещения лекций, и они не должны были сдавать экзамены, за исключением выпуск-

ного, на котором им присванвалась докторская степень (степени бакалавра н магистра не были приняты в большинстве европейских университетов). Не существовало в то время и студенческих общежитий. Студент сннмал комнату, н когда решал перейтн в другой университет, который его больше привлекал лнбо ученым с нзвестным именем, либо хорошо оборудованной лабораторней и местоположением, позволяющим заниматься зимними видамн спорта, его ничто не удерживало, и он уезжал.

Планк избрал Берлинский универснтет. Читаемые там прославленными учеными лекции посещали кроме студентов многие армейские офицеры и государственные чнновники. (В то время фон Трейчке, профессор нстории, обращаясь к огромной аудnторнн, любил повторять: «Наш век — суровый век; и если снльный побеждает слабого. это — закон жизни».)

В Берлинском университете был собран цвет немецкой науки. Сюда стекались не только немецкие студенты, такие, как Планк, но и старшекурснnкн из других стран Европы и из Соедnненных Штатов Америки. Самым известным из всех ученых был Герман фон Гельмгольц, профессор физнки, чья работа сыграла решающую роль в установлении закона, так поразившего Планка в детстве, — закона сохранения энергии. В Германнн, где все профессора пользовались огромным уважением, фон Гельмгольц был величайшим из величайших. Говорнлн, что «после Бисмарка и старого кайзера фон Гельмгольц— самая знаменнтая лнчность во всей Германской империи». Ему был дарован вызывающий благоговение титул «экселленц», произнося который, коллеги всегда ннзко кланялись. Фон Гельмгольц с его непомерно крупной головой, лохматымн бровямн, с глубокой складкой между нимн и вздувшейся веной на лбу был таким величественным, такой трепет внушал всем окружающим, что один из студентов сравннл его с Во́таном * — отцом богов Валгаллы.

Но, к большому удивлению и разочарованию Макса Планка, лекцнн велнкого физика оказались скучными. «Вотан» говорнл очень медленно и так тихо, что его едва было слышно. Он постоянно останавлнвался, чтобы заглянуть в свои запнсн. Цифры, которые он пнсал на дос-

* Вотан — в мифологии древних германцев бог ветра, бурь, верховное божество.— *Прим. перев.*

ке, были настолько крошечными, что слушатели иногда ничего не могли разобрать; кроме того, профессор часто ошибался. Видимо, великий фон Гельмгольц был слишком занят решением вопросов, не относящихся к учебной программе.

Однажды видели, как высокий молодой офицер с большой сигарой во рту вошел в здание, где помещался кабинет фон Гельмгольца. Офицер отбросил в сторону сигару и перешагнул через порог. Оставался он наедине с профессором более часа. Это был престолонаследник принц Фридрих, представлявший германскую армию и флот. По всей видимости, он приходил просить совета по военным вопросам.

Студентам, напротив, редко удавалось попасть в кабинет профессора. Так, один из них, американец по имени Майкл Пьюпин, захотел однажды узнать у Гельмгольца, почему на своих лекциях он не упоминал о некоторых последних достижениях в физике. Но, как рассказывал Пьюпин, когда он объяснил ассистенту Гельмгольца, о чем хочет спросить великого физика, тот только «всплеснул руками в священном ужасе». Разве можно задавать профессору подобный вопрос: это свидетельствовало бы о недостаточном к нему уважении.

Как преподаватель Гельмгольц разочаровал Планка. Не лучше оказался и другой прославленный профессор физики Берлинского университета Густав Кирхгоф, получивший известность за теоретические работы в области излучения. Нельзя сказать, что он плохо готовился к лекциям, совсем наоборот. Планк так описывал их: «...каждая фраза была взвешена и продумана. Ни одного лишнего слова... сухо и монотонно».

Но, несмотря на монотонность и невнятность этих лекций, Планк продолжал посещать их даже тогда, когда студенческая аудитория состояла всего из двух человек, не считая его самого. Однако все, чему научился он в Берлине, явилось результатом его собственного труда. «Я прочел все, что наметил себе сам», — говорил он. Большинство из прочитанных им книг имели отношение к термодинамике. Этот раздел физики рассматривает связь между теплом и механическим действием (работой), а так как теплота проявляется во всех физических системах (в противоположность, например, электрическому заряду), сфера применения термодинамики поистине безгранична. Из ее законов могут быть установлены не

только принципы действия различных тепловых двигателей, но и законы метеорологии, химии, геологии и даже биологии.

Тот факт, что простые законы термодинамики столь много объясняют, означал для Планка, что они истинны, фундаментальны, абсолютны и точно описывают все простое, незыблемое, вечное в природе. Планк хотел всю свою жизнь посвятить этим законам, исследовать их значение для различных областей науки, показать неограниченные возможности их применения. С помощью такого логического доказательства, полагал Планк, можно совершить открытие, так как, по его мнению, не только эксперимент помогал познавать новое.

Вот почему Планк вплотную занялся изучением термодинамики, просматривал литературу, которая состояла в основном из статей его двух профессоров, Кирхгофа и Гельмгольца. Но именно тогда, когда Планк с воодушевлением изучал ранние работы этих корифеев науки, они, как и многие другие физики, потеряли к термодинамике всякий интерес. Широкая сфера приложения термодинамики, простота ее основ привели их к заключению, что здесь уже все сделано. Они считали, что если и осталось еще что-нибудь в физике неизвестным, то оно кроется в несоответствии экспериментальных данных теоретическим выводам или в теории, которая не является такой логически изящной и строгой, как термодинамика. Короче говоря, в то время большинство физиков считали, что здание термодинамики уже возведено и что оно совершенно по своей форме. Планку законы термодинамики представлялись ключом от бесчисленного количества дверей, ведущих в неизвестное.

Во время уединенных занятий термодинамикой Планку однажды пришла на ум идея, которая, как он полагал, могла бы сыграть роль такого ключа. Это открытие, краеугольным камнем которого было понятие «энтропии», явилось поворотным пунктом в его жизни. Оно сыграло такую важную роль, что нельзя говорить о Планке, не вспомнив об энтропии. Хотя знание энтропии совсем не обязательно для усвоения квантовой теории, оно важно для понимания того, как Планку удалось вплотную подойти к своей теории, какого склада ученым он был. Поэтому остановимся кратко на законах термодинамики, так как энтропия является составной и неотъемлемой частью второго закона (начала) термодинамики.

Первое начало термодинамики гласит, что энергия всегда сохраняется; она не может быть получена из ничего и не может исчезнуть. Это очень общая формулировка, и сейчас первое начало получило гораздо более широкое толкование, чем в гимназические годы Планка. Иначе обстоит дело со вторым законом. Он был открыт в связи с развитием работ по созданию тепловых двигателей и на первых порах тесно связан с вопросом: какое количество работы может совершить тепло? Хотя энергия никогда не исчезает, а способна лишь переходить из одного вида в другой, все же нельзя превратить всю тепловую энергию в работу. В естественных условиях, утверждает второе начало термодинамики, некоторое количество энергии остается недоступным для дальнейшего использования.

Сейчас второе начало термодинамики понимается в более глубоком и общем смысле; вопрос: «какое количество работы...» является лишь одним из многочисленных вопросов, на которые этот закон может дать ответ. Планк одним из первых сумел заметить более широкое значение закона, когда, изучая термодинамику, натолкнулся на статьи Рудольфа Клаузиуса, который предлагал новую формулировку второго начала, отличавшуюся от всеми признанной.

Чтобы проиллюстрировать различие между двумя вариантами второго начала термодинамики, о которых шла речь в статьях Клаузиуса, рассмотрим сначала два других утверждения, более общедоступных и понятных, и сравним содержащуюся в них информацию:

1) молния видна прежде, чем слышен удар грома; 2) скорость света почти в миллион раз превышает скорость звука.

Второе утверждение содержит информацию, заключенную в первом. Оно имеет более общий вид и в то же время более точное, так как содержит количественную информацию.

Вариант второго начала термодинамики, предложенный Клаузиусом, аналогичен по своей форме второму рассмотренному нами утверждению. Он помогает понять, почему невозможно перевести всю тепловую энергию в работу, и многое другое, объясняет это количественно, и средством, которое позволяет измерять количество, служит энтропия, являющаяся чисто математической величиной. Энтропия — величина, с помощью которой оце-

нивают направленные изменения в природе, всегда стремящиеся к увеличению. «Когда происходят естественные изменения в природе, энтропия возрастает или, в лучшем случае, остается неизменной». Такова формулировка второго начала термодинамики, предложенная Клаузиусом.

Макс Планк счел этот вариант закона превосходным. Но его преимущество в то время не было очевидным для большинства физиков; закон не приводил к каким-либо поразительным открытиям и, более того, был труден для понимания. Энтропия связана с математикой, ее невозможно осязать. Зачем закон, кажущийся таким исчерпывающим, заново переделывать и переводить на трудный язык энтропии? Зачем вдаваться в чрезмерные тонкости? Таково, по-видимому, было всеобщее мнение. Во всяком случае, если к термодинамике относились просто безразлично, то идея ее «усовершенствования» была встречена с еще большим равнодушием. За исключением одного или двух ученых, «буквально никто никогда не проявлял интереса» к энтропии в то время, когда Планк увлекся ею. В последующие годы ситуация изменится. В результате изучения движения молекул в «стремление» энтропии к возрастанию будет вложен новый смысл.

Ознакомившись со статьями Клаузиуса, Планк пишет свою первую научную работу, в которой развивает идеи Клаузиуса. Эта работа сейчас считается хорошим, солидным научным трудом. Планк много и с энтузиазмом трудился над ней, «вдаваясь в тонкости». Когда работа была завершена, он представил ее как тезисы к своей докторской диссертации. Работа была опубликована.

Позже Планк описал, какое впечатление произвела его статья на научный мир: оно равнялось «нулю». Планк надеялся, что ученые, чьи работы вдохновили его, дадут благоприятные отзывы, но Кирхгоф только обнаружил в статье ошибку, а фон Гельмгольц, который, возможно, вообще не удосужился ее прочитать, не проронил ни слова. Даже Клаузиус хранил молчание. Планк послал ему свои тезисы и стал ждать ответа. Ответа не последовало, и Планк написал повторно. Не получив и на этот раз письма, Планк решил сам отправиться в Бонн, чтобы лично повидаться с профессором Клаузиусом. Профессора «не оказалось дома». «Нулевой эффект», вызванный работой Планка, означал, что шанс продвинуться в научном мире для него был поистине ничтожным. Если его работа останется незамеченной, ему никогда не предложат

место профессора. В то время физик-теоретик был обязан преподавать, чтобы зарабатывать на жизнь; его исследовательские работы не оплачивались.

Вскоре после получения докторской степени Планк стал приват-доцентом у себя на родине, в Мюнхенском университете. Приват-доценту чтение лекций не оплачивалось; лишь студенты, которые хотели посещать его лекции, обычно выплачивали ему небольшую сумму. Только немногие приват-доценты становились профессорами, те немногие, чьи лекции нравились студентам, чьи научные статьи регулярно появлялись на страницах журналов и получали одобрение научной общественности. Часто приват-доценту приходилось по десять, пятнадцать и более лет проводить в ожидании звания профессора; многие теряли надежду и уходили преподавать в гимназии. Планк находился в еще более затруднительном положении: в немногих университетах имелись должности для физика-теоретика.

Прошло пять лет, а Планк все еще оставался приват-доцентом, все еще надеялся добиться признания и положения. Он жил вместе с родителями и жаждал независимости. Планк вел весьма уединенный образ жизни, ему не с кем было поговорить о своих творческих планах, его письма к другим физикам по-прежнему часто оставались без ответа. В течение этих лет Планк следовал по пути, избранному им еще в Берлине, по пути, которому он посвятил всю свою жизнь: исследованию законов термодинамики, в частности, возрастанию энтропии, измерению необратимых процессов в природе. В ряде статей он показал, что некоторые физические и химические явления можно объяснить с помощью энтропии. Эти статьи принесли ему не больше известности, чем его первая работа, и по тем же причинам. Но Планк был все же уверен, что добьется успеха: как только работа Клаузиуса получит признание, его труды будут оценены по достоинству. Надежды Планка не были лишены оснований, но он не знал, что другой физик-теоретик, американец Джозайя Уиллард Гиббс из Йельского университета, работал над той же самой проблемой, и что его статья была опубликована немногим ранее, чем работа Планка. И когда энтропия получила, наконец, признание, к Гиббсу, а не к Планку пришел запоздалый успех.

Годы, прожитые Планком с родителями, и его приват-доцентство, по-видимому, были самым грустным перио-

дом в его жизни, поэтому, как позже вспоминал Планк, когда ему наконец предложили профессуру в Кильском университете, он воспринял это как «весть об избавлении». Он был в «высшей степени счастлив принять предложение», хотя подозревал, что оно обусловлено не столько признанием его собственных заслуг, сколько тем фактом, что в Кильском университете физику преподавал хороший друг его отца.

Вскоре после переезда Планка в Киль, город, расположенной в Северной Германии, его статья была наконец прочитана и одобрена не кем иным, как Германом фон Гельмгольцем. Произошло это при довольно любопытных обстоятельствах на конкурсе, в котором Планк принял участие и в некотором смысле потерпел неудачу. Надеясь завоевать «известность в научном мире», он представил в научный совет Геттингенского университета, где проводился конкурс, свою работу. Когда были объявлены победители, Планк узнал, что ему присуждена вторая премия, а две остальные работы, представленные на конкурс, вообще не удостоены никаких призов. В таком случае почему же мне не присудили первую премию? — удивился Планк. Ответ он получил позже, когда научный совет объявил причины такого решения. Дело в том, что в то время между фон Гельмгольцем и профессором физики Геттингенского университета происходила горячая дискуссия по одному из затронутых Планком вопросов, и Планк в своей работе занял позицию фон Гельмгольца. Именно эту часть работы члены жюри и подвергли критике. По-видимому, они не присудили Планку первой премии из чувства лояльности к своему коллеге и тем самым оказали Планку большую услугу. Так фон Гельмгольц узнал о безызвестном молодом физике, который принял в споре его сторону. Он прочитал статьи Планка, одобрил их, и через несколько лет, во многом благодаря его влиянию, Планк получил очень хорошее место — должность профессора в Берлинском университете.

Планку было всего тридцать один год, когда он начал читать лекции в Берлинском университете наряду с пожилыми профессорами, многие из которых носили в то время пышные бакенбарды. Худощавый, без бакенбард, а лишь с небольшими усиками, со скромными манерами, Планк отнюдь не выглядел экстраординарным профессором (в Германии профессоров называют «ординарными», а их помощников «экстраординарными» профессорами).

Рассказывают, что вскоре после приезда в Берлин Планк забыл, в какой аудитории должен читать лекцию, и зашел в канцелярию узнать об этом.

— Скажите, пожалуйста, — обратился он к пожилому человеку, который ведал канцелярией, — в какой аудитории профессор Планк сегодня читает лекцию?

Старик похлопал его по плечу:

— Не ходите туда, юноша, — сказал он. — Вы еще слишком молоды, чтобы понимать лекции нашего мудрого профессора Планка.

Далеко не все берлинские профессора оказали теплый прием своему молодому коллеге. На факультете он был единственным, так сказать, чистым теоретиком, и некоторые ученые-экспериментаторы недоверчиво относились к «этой молодой персоне», которая никогда не заходила в лабораторию. (Позже Эйнштейн встретил точно такой же прием в том же самом университете.) Но дружба с одним из них полностью компенсировала прохладное отношение остальных: он был допущен в число близких друзей экселленца фон Гельмгольца. Наконец-то у него было с кем поговорить, поделиться своими замыслами, поспорить. За время таких бесед с фон Гельмгольцем, вспоминал Планк, он узнал куда больше, чем за все свои студенческие годы.

Молодой профессор буквально обожал своего старшего коллегу. По словам Планка, он «трепетал», если фон Гельмгольц изредка удостаивал его своей похвалы, «когда во время беседы, бывало, он устремлял на меня свой взор, спокойный, внимательно изучающий и в то же время очень доброжелательный, мною овладевало чувство безграничной детской преданности и доверия...». Однако, несмотря на всю свою огромную сыновнюю преданность фон Гельмгольцу и существующим законам классической физики, Планк все же посмел обнаружить слабое место в этих законах. Вскоре он начал работать над проблемой, получившей впоследствии название «ультрафиолетовой катастрофы». Но сначала произошло событие, которое дало ему в руки средство для разрешения этой проблемы, событие, показавшее, что приверженность Планка к энтропии не была ошибкой.

В Берлине, так же как в Мюнхене и в Киле, Планк продолжал изучать второе начало термодинамики в формулировке Клаузиуса. Он продолжал защищать новый вариант в дискуссиях с другими физиками, излагая мно-

гие свои доводы в адресованных им письмах. Сейчас благодаря возросшему научному авторитету Планка его письма не оставались без ответа, тем не менее все его усилия были тщетными. Планка это весьма огорчало. Ему было абсолютно ясно, что новый вариант второго начала термодинамики гораздо глубже и полнее, чего другие ученые никак не хотели понять. «Некоторые физики рассматривали рассуждения Клаузиуса как излишне сложные и запутанные, — сетует Планк в своей автобиографии. — Все мои доводы пропускались мимо ушей». Планку в своей жизни не раз придется испытывать такого рода разочарования. Он говорил, что очень редко ему самому удавалось убедить кого-либо в правильности своих идей. Всегда приходилось ожидать, пока какой-нибудь другой ученый не выступит с совершенно иными доводами, подтверждающими правоту Планка. В случае второго начала термодинамики таким ученым оказался австрийский физик Людвиг Больцман.

Больцмана интересовала связь между законами термодинамики и движением молекул. В то время еще не было найдено прямое доказательство существования молекул. Если молекулы действительно существуют — а Больцман пытался доказать именно это, — то при их движении должно выделяться тепло. Предположим, установлено, что движение молекул может происходить при различных условиях согласно законам движения Ньютона. Тогда не приведут ли дальнейшие рассуждения к уже известным законам термодинамики, не позволят ли узнать нечто новое об этих законах, например объяснить, почему тепловую энергию нельзя полностью превратить в механическую?

В качестве примера рассмотрим падающую на землю монету. Когда монета придет в состояние покоя, выделится тепло, количество которого эквивалентно энергии движения, потерянной монетой (ее механической энергии). Затем будем нагревать монету до тех пор, пока не возвратим ей то количество энергии, которое она потеряла. Однако это не заставит монету вернуться в первоначальное положение. Монета останется лежать на земле на том же самом месте. Почему?

Причина становится ясной, если принять во внимание, что монета состоит из молекул. При любых обстоятельствах (Больцман так предполагал, и позже это было доказано) молекулы находятся в движении; они движутся

с различными скоростями в различных направлениях. Нет никакого намека на упорядоченность, систему. Однако при падении монеты все ее молекулы устремляются с одной и той же скоростью в одном и том же направлении. Хотя их незначительные, беспорядочные движения продолжаются, в этих движениях все же есть общая система, порядок. Порядок нарушается в момент удара монеты о землю. Нагревание монеты не восстановит прежней упорядоченности, тепло лишь ускорит хаотическое движение молекулы. Частички не выстраиваются так, чтобы двигаться в каком-то определенном направлении, поэтому монета не движется.

Причина, почему теплота не может быть полностью превращена в механическую энергию, заключается в тенденции природы к увеличению беспорядка. «Естественные процессы развиваются необратимо в направлении увеличения беспорядка», — так Больцман на основе молекулярного движения сформулировал второе начало термодинамики. Эта формулировка аналогична варианту второго начала, предложенному Клаузиусом; функцию состояния, энтропию, Больцман отождествил с мерой беспорядка.

Планк был убежден, что именно благодаря работе Больцмана физики признали вариант второго начала термодинамики по Клаузиусу. Однако произошло это не сразу; окончательное доказательство существования молекул сделано спустя много лет после появления работы Больцмана. Физики, наконец, признали новый вариант закона, чему помогли скорее аргументы Больцмана, нежели Планка. Немало этому способствовало и то обстоятельство, что при доказательстве более широкого значения закона Больцман сумел доказать и нечто другое: *закон не был абсолютным.*

Работа Больцмана носила статистический характер. В то время (да и позже) не представлялось возможным измерить точную величину смещения каждой из бесчисленного множества молекул в системе (в нашем случае монеты) за единицу времени. Поэтому Больцман должен был учитывать в своей работе усредненные смещения молекул, т. е. применять статистику. Сделанные им выводы также имели статистический характер: энтропия возрастает, но только в среднем. В отдельных случаях энтропия может и уменьшаться. Это не невозможно, а лишь в высшей степени маловероятно.

«Неправильно», — возразил Планк. Так же, как энергия сохраняется в каждом отдельном случае без исключения, так и энтропия возрастает или остается без изменения, но *никогда* не убывает. Законы вероятности здесь не должны иметь места, не может быть полутонов: либо черное, либо белое. В письме к Больцману Планк изложил свою точку зрения. Больцман был известен своим сарказмом, и его ответ Планку носил далеко не дружелюбный характер.

Спустя полвека, когда Планк писал свою автобиографию, раны, полученные им в битве за второе начало, все еще причиняли ему страдания. «Мне так и не довелось,— писал он,— почувствовать себя понятым». Он сознавал, что все его попытки убедить были ничем иным, как напрасно потерянным временем и зря потраченными усилиями. С таким же успехом он мог бы хранить молчание. А Больцман все продолжал выступать со своими статистическими выводами, с которыми Планк был в корне не согласен. Однако, несмотря на оскорбительное письмо, несмотря на свою убежденность в том, что энтропия может только возрастать в абсолютном смысле этого слова, Планк в конце концов признал статистическую интерпретацию энтропии по Больцману и даже сам доказал ее обоснованность.

В следующей главе мы увидим, как Макс Планк, по природе своей большой консерватор, предложил «самую революционную идею, которая когда-либо потрясала физику». Планк предложил квантовую теорию.

Макс Планк. Квантовая теория

Мне так и не довелось почувствовать себя понятым.

Макс Планк

Один молодой физик, который приехав в Берлин, остановился у Макса Планка, обратил внимание на удивительно строгий распорядок дня профессора. Это его настолько заинтересовало, что он решил специально понаблюдать: стоя за дверью в своей комнате, он стал ждать боя часов. И действительно, часы еще продолжали бить, а Планк уже появился в дверях своей комнаты, спустился по лестнице и вышел на улицу через парадную дверь. Дальнейшие наблюдения подтвердили, что как только большие часы в зале отбивали определенный час, из дверей своей комнаты неизменно появлялся Макс Планк и спускался вниз по лестнице.

Обычно Планк часть дня посвящал прогулке пешком, так же как тридцать минут он всегда отводил игре на фортепьяно. Когда этот в высшей степени организованный ученый работал в своем кабинете, где были собраны редчайшие научные труды, он работал стоя. Его письменный стол был высоким, как конторки у клерков диккенсовских времен, за которыми они восседали на высоких табуретках. Но у Планка табуретки не было.

Шел 1897 год. Прошло уже девять лет, как Планк переехал в Берлин и работал с фон Гельмгольцем. Планк напряженно и целеустремленно трудился над проблемой, получившей позже название «ультрафиолетовой катастрофы», над проблемой, которая привела его к выводу, что энергия изменяется не непрерывно, к выводу, в корне противоречащему прежним, на которых базировалась наука.

Как уже упоминалось выше, не только Планк заинтересовался проблемой расчета количества излучения и тепла, испускаемого идеальным излучателем — черным телом. Этот излучатель, на спектр которого не оказывали влияния никакие другие факторы, за исключением температуры, привлек внимание физиков. Ученые пытались объяснить идеальный случай и, следовательно, понять процесс теплового излучения вообще.

Лучеиспускание, подобное излучению абсолютно черного тела, можно наблюдать при нагревании любого твердого куска металла, например кочерги. При низких температурах испускается длинноволновое излучение, лежащее в инфракрасной области спектра. С ростом температуры длины волн становятся все короче и короче, кочерга сначала накаляется докрасна, затем становится оранжевой, пока, с добавлением других цветов спектра, не начинает казаться раскаленной добела. Дальнейшее повышение температуры приводит к появлению еще более коротких длин волн, которые человек не может увидеть, так как они лежат в ультрафиолетовой области спектра.

Спектр излучения абсолютно черного тела (или любой другой) показывает, как распределяется энергия в зависимости от длины волны. Во времена Планка в лабораторных условиях уже умели измерять энергии спектра. Экспериментальным путем была определена зависимость энергии излучения абсолютно черного тела от температуры. Задача заключалась в том, чтобы объяснить характерное распределение энергии излучения черного тела на основе уже имеющихся экспериментальных данных. В общем, физики взялись за разрешение этой проблемы следующим образом: они начали с гипотезы, которая казалась вполне приемлемой с точки зрения уже известного науке. На основе гипотезы была создана модель, объясняющая механизм излучения и показывающая, как излучение возникает из вещества. Затем в подтверждение своей гипотезы физики установили, какие энергии излучения могут наблюдаться согласно модели, сопоставляя теоретические выводы с экспериментальными данными, полученными на реальных энергетических спектрах.

Модели, которые физики использовали в попытках разрешить проблему абсолютно черного тела, не были атомными. Хотя именно в это время было установлено существование электрона, строение атома все еще оставалось неясным. Физики располагали весьма общими

представлениями относительно структуры материи, являющейся причиной излучения. Они предполагали, что абсолютно черное тело состоит главным образом из электрически заряженных частиц определенного вида *, колебания которых, ускоряемые теплом, и приводят к излучению. Фактически такие общие представления были достаточны для рассматриваемой проблемы, однако они не могли объяснить излучение черного тела. Трудности возникли на следующем этапе работы. Чтобы установить спектральное распределение энергии, необходимо было прежде всего определить, каким частицам, колебания которых приводят к излучению, соответствуют те или иные значения энергии. Энергия должна распределяться так, чтобы при колебании частиц определенного вида испускалось (или поглощалось) излучение какой-то определенной частоты. Однако если частицы, как в то время полагали, способны терять или приобретать энергию непрерывно, значения выделяемой или поглощаемой энергии не могут быть ограничены: в противном случае это привело бы к скачкообразным, мгновенным изменениям энергии. Отсюда следует, что колебательные движения электрически заряженных частиц не ограничены; их колебания должны быть бесконечно малыми. В таком случае энергия излучения коротковолновой (высокочастотной) области спектра будет стремиться к бесконечности. Так физики предсказали «ультрафиолетовую катастрофу», а мы, тем не менее, знаем, что раскаленное материальное тело не излучает бесконечно большого количества энергии. Более того, из опыта известно, что бóльшая часть энергии выделяется на средних длинах волн. Отсюда ясно: чтобы избежать «ультрафиолетовой катастрофы» и получить более точное описание излучения черного тела, необходимо наложить на энергию ограничение так, чтобы она не достигала бесконечно большого значения и не распределялась в основном в коротковолновой области спектра.

Теперь все кажется очень простым, но когда Планк работал над этой проблемой, все обстояло гораздо сложнее. Прежде всего, экспериментальные результаты не были достаточно достоверными: только начинало казаться, что находишься на правильном пути, как новые и более точные эксперименты по измерению интенсивности излучения опровергали ранее полученные данные. Более того,

* Так называемых линейных осцилляторов.— *Прим. перев.*

считалось поистине невозможным предположить, что причиной ошибок является гипотеза о непрерывном изменении энергии. Измерения энергии излучения абсолютно черного тела явились первым явным доказательством ошибочности гипотезы, раньше же не было никаких причин в ней усомниться. Действительно, идея непрерывности в природе, а следовательно, и непрерывности изменения энергии, не казалась одним лишь предположением. Ее принимали за нечто само собой разумеющееся. Например, при выводе законов роста различных растений обычно принимают за вполне очевидный факт такие явления, как, например, ежедневный восход солнца. Так и физики были уверены, что энергия изменяется непрерывно. То обстоятельство, что они не смогли разрешить проблему, основанную на выдвинутой ими гипотезе, не поколебало их уверенности. Они выдвигали много других гипотез, и было гораздо больше причин сомневаться именно в них. Лишь значительно позже ученые, наконец, поняли, что используемые ими законы и теории основывались на ошибочных предположениях и что, если рассматривать эту проблему, исходя из классических законов теплоты, механики или электродинамики, неизбежно будет получен один и тот же ответ: «ультрафиолетовая катастрофа»*. Все пути исследования приводили к такому выводу.

И Макс Планк продолжал верить законам, хотя разрешить проблему излучения черного тела ему помогла идея, которая противоречила тому, что утверждала классическая физика. Это произошло в основном по двум причинам. Во-первых, Планк разрешил проблему, так сказать, шиворот навыворот; он вывел формулу, которая правильно описывала спектральное распределение плотностей энергии излучения черного тела, не вникая в физический смысл полученного ими выражения. Во-вторых, анализируя значение формулы, он использовал математический прием, который являлся для него новым и который он, сам того не зная, применил неправильно. Посмотрим, как это произошло.

Планк получил свою формулу излучения в некоторой степени искусственным путем, применив чисто математический прием. Среди других предложенных им формул были две формулы, каждая из которых правильно описы-

* Эйнштейн первым указал на это спустя пять лет после опубликования работы Планка.

вала спектральное распределение плотностей энергии для конкретного, частного случая: одна — в коротковолновой области спектра, другая — в длинноволновой. Планк нашел простой и логичный способ объединить лучшие стороны полученных двух математических выражений. Однако он не знал, справедлива ли выведенная им новая формула для всего спектра при любых температурах. Его неведение длилось недолго.

19 октября 1900 года Планк выступил с сообщением о выдвинутой им новой теории лучеиспускания на заседании Германского физического общества. Среди присутствующих находился физик Генрих Рубенс, который проводил опыты с черным телом. Как только заседание окончилось, Рубенс отправился к себе домой и бо́льшую часть ночи провел за сопоставлением своих экспериментальных данных с формулой Планка. Совпадение было прекрасным. На следующее утро Рубенс появился у Планка, чтобы сообщить ему приятную новость.

Теперь Макс Планк был уверен, что проблема черного тела им разрешена, но ни он сам и никто другой в тот момент не осознали полного значения открытия. Планк вывел формулу, интуитивно сложив отдельные части двух формул и тем самым автоматически изменив предположения, на которых основывались слагаемые. Как они изменились? Какие новые предположения он ввел, сам того не зная? Единственно, что ему оставалось делать, это рассмотреть различные гипотезы и увидеть, приводит ли одна из них к его формуле. Только тогда он сможет понять, какой смысл заключен в формуле.

Планк начал с того, что попытался установить логическую связь теории с экспериментом так, чтобы его формула не только правильно описывала экспериментальные данные, но и объясняла их. В течение двух месяцев Планк занимался исключительно этим вопросом и работал, по его словам, более напряженно, чем когда-либо. Хотя проблема касалась электрически заряженных частиц и их движения, Планк, не пытался разрешить ее с позиций теории электричества, а использовал термодинамику. Как уже упоминалось, сфера применения термодинамики очень широка, и проблема черного тела могла быть выражена в терминах как термодинамики, так и электричества.

У Планка была причина обратиться именно к термодинамике. Как и многим другим физикам, ему хотелось

разрешить проблему излучения абсолютно черного тела, но при этом он ставил перед собой и другую задачу: разрешив проблему излучения, он тем самым хотел доказать фундаментальную природу второго начала термодинамики. Он стремился еще раз показать, что энтропия возрастает в абсолютном значении. Вот почему в 1897 году Планк заинтересовался проблемой излучения черного тела. Вот почему в течение четырех лет он бился над ней. Он полагал, что если ему удастся доказать, что в случае абсолютно черного тела энтропия возрастает, то это автоматически приведет к правильному решению всей проблемы в целом. В течение четырех лет ему не сопутствовала удача. Когда в 1900 году Планк, наконец, нашел правильное решение, хотя и не на теоретической основе, он тотчас же обратился к своей ранней работе и попытался получить правильный ответ, исходя из идеи возрастания энтропии в каждом отдельном случае.

Это означало, что он должен либо перечеркнуть четырехлетний труд по разрешению проблемы излучения черного тела на основе второго начала термодинамики, либо использовать последний шанс — статистическую интерпретацию второго начала по Больцману. Планк никогда не применял в своих работах статистики. Предположим, он использует ее и рассмотрит проблему с новой точки зрения, как и Больцман, выразив ее в терминах движения молекул и их статистических вероятностей, а затем на этой основе сможет вывести свою формулу, которая правильно описывала бы физическую реальность. Тогда автоматически будет доказано, что второе начало термодинамики не является абсолютным законом.

Так систематическое, терпеливое, упорное исследование второго начала Максом Планком привело его в конце концов к следующему выводу: если он станет продолжать исследования, то, возможно, придет к отрицанию того, что являлось абсолютной истиной. Но это его не остановило; он просмотрел статьи, в которых Больцман излагал свой статистический метод, применил его к проблеме, которой занимался, и обнаружил, что в конечном счете действительно получается все та же формула. Так, Планк доказал, что возрастание энтропии, происходящее в подавляющем большинстве случаев, не является абсолютным фактом, как считал он сам в течение нескольких десятилетий. Только одно это открытие могло принести славу Планку. Но в этот же период у него появилась но-

вая идея: чтобы правильно вывести формулу излучения черного тела, необходимо было не только использовать статистический метод, но и выдвинуть гипотезу, в корне противоречащую физике девятнадцатого столетия. Планк применил статистический метод Больцмана, а в основу своей работы положил гипотезу о дискретности энергии. Посмотрим, как это произошло.

На определенной стадии вычисления метод Больцмана требовал рассмотрения энергии как бы разделенной на отдельные порции, так как вероятность события определяется обычно на основе подсчета каких-то конкретных величин. Больцман и другие физики, знакомые с дискретным методом, понимали, что такое деление энергии на отдельные части является математическим вычислительным приемом. На последующей стадии расчета с помощью другого метода они всегда избавлялись от дискретности, делая энергию снова непрерывной.

Аналогичный прием иногда используется при решении задач с фигурами, образованными замкнутой кривой линией, например с окружностью. Вместо того чтобы вычислять точное значение длины окружности, часто бывает легче применить метод последовательных приближений. По сути, математик избавляется от необходимости расчета длины замкнутой кривой, которую трудно определить с помощью арифметики, а представляет окружность в виде правильного вписанного многоугольника, стороны которого очень малы. (Если изобразить графически такую фигуру, она будет выглядеть почти как окружность.) Общая длина сторон такого многоугольника может быть приближенно принята при расчете за длину окружности. Затем математик находит точное значение длины окружности, полагая, что число сторон многоугольника увеличивается до бесконечности. Таким способом он снова возвращается к непрерывной кривой.

Непрерывный поток энергии, подобно кривой линии, бесконечно делим. Если бы Планк применил метод Больцмана так, как это думал сделать сам автор, и после расчета отдельных порций просуммировал части, предоставив их числу увеличиваться до бесконечности, он сделал бы совершенно иной вывод. Предполагая, что его расчеты во всех остальных отношениях правильны, он получил бы формулу, предсказывающую «ультрафиолетовую катастрофу». Как указывалось выше, к такому выводу неизбежно приводили все пути исследования. В течение долгих

лет работы над проблемой излучения абсолютно черного тела Планк ни разу не приходил в своих рассуждениях к заключению, что «ультрафиолетовая катастрофа» неизбежна: применяемые им методы никогда не приводили его к подобному выводу. Когда же наконец он предпринял решающий шаг, то использовал математический прием, для него совершенно новый. Планк не сложил вместе отдельные части энергии. Он понял, что существует другой способ получить правильный ответ, а именно использовать формулу, которую он имел перед собой. Раз энергия делима не бесконечно, то и количество излучаемой энергии не бесконечно. Более того, если отдельные порции излучаемой энергии не равны по своей величине, то вовсе не обязательно, чтобы энергия распределялась главным образом в коротковолновой области спектра.

Так Планк нашел простое, но удивительное правило, которое было скрыто в выведенной им формуле и которое легло в основу квантовой теории. Правило устанавливает зависимость между порцией энергии, которую Планк назвал «квантом» (использовав латинское слово, означающее «сколько»), и частотой колебания волны, (а следовательно, и длиной волны). Чтобы найти энергию кванта E, надо умножить частоту колебания волны ν на постоянную величину, константу, h, т. е.

$$E = h\nu.$$

Правило Планка казалось странным, так как оно ставило знак равенства между энергией E, выраженной дискретной величиной, и энергией, полагаемой непрерывной (ибо частота колебания является характеристикой волнового процесса). Полное значение этого уравнения не было осознано до тех пор, пока не было показано, что свет может рассматриваться как поток мельчайших энергетических частиц — фотонов. Проблема черного тела касалась только процесса излучения и поглощения света, а не самой структуры излучения. Планк в своей работе наложил ограничение только на энергию электрически заряженных частиц, из которых состоит излучающее тело: они колеблются только таким образом, что излучается (или поглощается) энергия, кратная кванту энергии $h\nu$. Если вещество испускает (или поглощает) свет порциями, то он должен состоять из отдельных частиц. Но в 1900 году не было никаких доказательств, что свет имеет корпускулярную структуру, в то время как его волновые

свойства были бесспорны. Более широкое признание уравнения $E = h\nu$ придет позже, когда будут найдены некоторые, хотя и незначительные доказательства корпускулярной структуры света. До тех пор дискретность энергии, провозглашенная уравнением Планка, считалась свойством самого излучателя, а не того, что излучалось.

Работа Планка не ставила под сомнение волновую теорию света, хотя и резко противоречила общепринятым представлениям, основанным на наблюдениях природы. Так, кажется, что раскачивающийся маятник теряет свою энергию постепенно и непрерывно. В подобных случаях мы имеем дело с такими предметами, которые мы можем наблюдать непосредственно. И нам всегда кажется, что энергия изменяется непрерывно.

Однако работа Планка это отрицает: в случае излучения абсолютно черного тела энергия изменяется импульсами, или скачками. Импульсы энергии чрезвычайно малы. В формуле $E = h\nu$ постоянная h определяет их величину; в единицах *эрг·сек* h равна числу
0,000 000 000 000 000 000 000 000 006 6, или $6{,}6 \cdot 10^{-27}$.

Произвела ли работа Планка революционный переворот в науке? Импульсы слишком малы, чтобы их можно было измерить обычными способами. Вплоть до 1900 года физики в основном имели дело с объектами и событиями обычного масштаба типа маятника и больше. Теперь они начали проводить более глубокие исследования и обнаружили, что объекты и события в микромире не соответствуют ожидаемому. Однако классическая физика все же была пригодна в тех случаях, где ее применяли раньше. Так, можно не принимать во внимание незначительную дискретность в значениях энергии при изучении движения маятника или планеты. Планк выдвинул новую гипотезу и в то же время не уничтожил старую — он только показал, что сфера применения законов классической физики ограничена. Именно в этом и заключалась революционность переворота, совершенного им в науке. Его работа наводила на мысль, что классическая физика еще не являлась последним словом в науке. Она указывала, что мир, в физическом понимании, вовсе не гигантский механизм, все действия которого можно в основном заранее предвидеть. Планк посеял зерно сомнения. С этого момента по мере того, как ученые все больше и больше станут узнавать об атомном мире, начнет постепенно развиваться новая физика. С этого момента ученые начнут пони-

мать, почему для описания отдельных физических событий, как, например, явления радиоактивного распада, следует применять правила статистики: почему атом обычно не излучает свет и почему электроны в атоме «не кончают жизнь самоубийством», падая на ядро.

За две недели до наступления рождества в 1900 году Макс Планк огласил результаты своей теоретической работы по излучению абсолютно черного тела. В докладе, с которым он выступил на заседании Берлинского физического общества, он ни словом не упомянул о том вызове, который его работа бросает классической физике, да и все факты говорят о том, что он и сам вначале не понял до конца значения своей формулы. Он не подозревал, что путь, который привел его к уравнению $E = h\nu$, не был путем, которым шел Больцман*. Более того, когда Планк осознал, наконец, революционный характер своей работы, он попытался перечеркнуть сделанное. Вернувшись к уже разрешенной им проблеме, он попытался найти другое решение, применить иной научный теоретический подход, который, однако, привел бы его все к тому же результату, не требуя применения роковой формулы $E = h\nu$. Планк посвятил этому многие годы, однако тщетно. Тем не менее он не терял надежды. Возможно, будущие открытия еще позволят заделать брешь в классической физике, виновником которой был он сам. Планк продолжал лелеять эту мечту, хотя ее осуществление умалило бы значение его собственной работы.

Однако все произошло наоборот. С годами правильность работы Планка становилась все более и более очевидной, а ему оказывали все больше и больше почестей. Теперь в Германии Планк занимал положение, какое некогда имел Герман фон Гельмгольц. Во всем мире физики считали Планка великим ученым, совершившим революцию в физике. И снова Максу Планку не довелось испытать чувства удовлетворения, «почувствовать себя понятым».

В последующие за 1900 годы большинство работ Планка было посвящено, как и прежде, второму началу термодинамики. Он применял статистическую интерпре-

---

* Сейчас трудио точно устаиовнть, осознавал лн в то время Планк значеине выведенной нм формулы или иет. Высказанное мною мнеине основывается иа точке зреиия специалнста по истории физики Мартниа Дж. Клейна, который тщательно проаналнзнровал ход рассуждений Планка прн исследованни излучення черного тела.

тацию, предложенную Больцманом, но, как и прежде, изучал его следствия случай за случаем, проблему за проблемой. Теперь лишь в редких случаях результаты его трудов оказывались неожиданными и интересными. Некоторые из коллег Планка удивлялись, почему он считает такие «неблагодарные темы» заслуживающими внимания. Они полагали, что Планк работает как машина, что он жертва своей огромной работоспособности, своих привычек и поборник скрупулезных, точных методов.

Эйнштейн был совершенно не согласен с подобной точкой зрения. После 1913 года он близко узнал Планка, и, несмотря на значительную разницу в их мировоззрении и происхождения, несмотря на чопорность Планка, из-за которой Эйнштейн часто испытывал неловкость в его присутствии, он обнаружил в своем старшем коллеге нечто такое, что их объединяло. Планк работает вовсе не как автомат, говорил Эйнштейн. Он лишь страстно желает найти в природе гармонию и порядок, что и побуждает его продолжать работу, это «крик его души». Вот почему Эйнштейн в разговорах с другими физиками, говоря о Планке, называл его «наш Планк». «Именно за это,— объяснял Эйнштейн,— мы его любим».

Многие физики признали важное значение научных трудов Планка только после выхода в свет статьи Эйнштейна. Вначале идею кванта игнорировали. В течение пяти лет после 1900 года физики не занимались ею, не искали других случаев, где квантовая гипотеза помогла бы объяснить результаты экспериментальных наблюдений. В чем же причина такого равнодушия? Историки объясняют это несколькими причинами. Одна из них заключается в том, что как раз в то время сплошной чередой, одно за другим, последовали важные открытия: в 1895 году были открыты рентгеновские лучи, в 1896 году— радиоактивность, в 1897 году — электрон, в 1898 году — радий; открытия, затмившие на время работу Планка, завершенную в 1900 году.

Другую причину такого безразличного отношения следует искать в самом характере работы Планка, которая бросала вызов классической физике, как это тогда было воспринято. Физики обычно не считают необходимым тотчас принимать подобные вызовы. Они стараются выждать, пока не наберется достаточно веских доказательств справедливости новой идеи. Теории в физике появляются

и исчезают. Часто то, что на первый взгляд кажется вполне логичным, впоследствии в свете новых открытий оказывается совершенно неправильным. Таким образом, с точки зрения физика 1900 года квантовая теория была просто искусным способом, позволившим получить отрывочные сведения. Она могла не выдержать испытания временем. Более того, классическая физика, правильность которой подвергалась сомнению лишь в одном единственном случае — в случае излучения абсолютно черного тела, во всем остальном вполне отвечала своему назначению. С ее помощью разрешались различные проблемы: она давала возможность познавать новое. Немногие физики склонны выискивать недостатки в законах, котоные они успешно применяют.

Отсюда можно предположить, каким должен быть физик, который подхватил бы вызов, брошенный работой Планка. Он должен был интересоваться не сферой применения физических законов, а идеями, положенными в их основу. Он должен был критически подходить к этим идеям и выступать в защиту проблем, противоречащих канонам классической физики. Он должен был уметь смотреть в корень вещей.

Альберт Эйнштейн как раз и был ученым такого склада. В следующей главе мы увидим, как он работал над двумя основными теориями современной физики: квантовой теорией и теорией относительности.

Альберт Эйнштейн. Работы 1905 года

В шестнадцать лет ты очень умен, и это никогда больше не повторится.

Лео Сцилард

В 1901 году, когда работа Макса Планка по излучению абсолютно черного тела появилась в научных журналах, Альберту Эйнштейну шел двадцать второй год, он окончил политехнический институт и был безработным. Сначала он обратился в швейцарский институт, где учился, с просьбой предоставить ему место приват-доцента, но ему ответили, что вакансии нет. Тогда Эйнштейн попытался устроиться учителем в гимназию, но тоже безуспешно. Наконец, он прочел в газете объявление, что требуется репетитор. Коренастый юноша с шапкой вьющихся волос и печальными темными глазами откликнулся на объявление и получил место.

Его учениками оказались два мальчика, которые не успевали в школе. Эйнштейн сам плохо учился в гимназии. Он резко возражал против того, что называл «традиционной машиной воспитания», когда требовалось насильно вдолбленные знания донести только до экзаменов. «Любознательность,— говорил он,— это нежное растение, которое, наряду с поощрением, нуждается прежде всего в свободе». И Эйнштейн учил своих воспитанников так, как в его представлении нужно было учить. Вместо того, чтобы пичкать их готовыми решениями, которые нужно было зазубривать, он задавал им вопросы и старался, чтобы они сами находили на них ответы.

Эйнштейн любил свою работу, но ему мешало одно обстоятельство. Мальчики продолжали посещать гимназию, где, как чувствовал Эйнштейн, ежедневно старались подавить их любознательность, которую он всячески развивал. Тогда он отправился к отцу своих учеников и по-

просил взять мальчиков из школы, объяснив, что сможет обучить их лучше, чем гимназические учителя. Его предложение не приняли, да и не удивительно, так как отец мальчиков сам был учителем гимназии. Новый репетитор был уволен.

И снова Эйнштейн без работы, и снова не может найти место, пока, наконец, один из его приятелей не представил его директору Швейцарского патентного бюро в Берне. Подвергнув Эйнштейна обстоятельному письменному экзамену, директор проникся убеждением, что молодой человек, хотя и не имеет практического опыта, все же окажется полезным, и принял его.

Эйнштейн полюбил и эту работу. К нему поступало множество заявок на патенты, в которых изобретатели излагали свои мысли, как правило, слишком подробно, с большим количеством незнакомых технических терминов. Задача Эйнштейна заключалась в том, чтобы уловить квинтэссенцию изобретения и затем написать краткий реферат так, чтобы его начальники смогли решить, заслуживает ли изобретение выдачи патента. Эйнштейну нравилось подобным образом тренировать свой ум. Его интересовали техническая аппаратура и приборы, а в кипе ежедневных писем он иногда наталкивался на остроумную идею. Это делало его работу в какой-то степени захватывающей. Но больше всего его прельщало то, что он справлялся со своими ежедневными обязанностями за три-четыре часа, а остальное время посвящал любимой физике.

Эйнштейна в то время интересовало несколько проблем, которые он пытался разрешить. Свои вычисления он делал на клочках бумаги, которые поспешно засовывал в ящик письменного стола, если кто-нибудь заходил к нему в комнату.

Об одной проблеме, над которой работал Эйнштейн, мы уже упоминали в связи с Людвигом Больцманом и энтропией — проблеме формулировки термодинамических законов в терминах вероятности молекулярного движения различного вида. Эйнштейн развил и углубил работу Больцмана, поставив перед собой определенную цель. Его задача заключалась в разработке математического приема, который позволил бы ему сформулировать общие законы движения системы на основе теории вероятности, т. е. сформулировать законы статистической механики. Эйнштейн не знал, что Джозайя Уиллард Гиббс,

тот самый Гиббс, который опубликовал результаты своих исследований по энтропии раньше Планка, уже сформулировал эти законы. Так снова внимание двух разных ученых, работающих в полной изоляции друг от друга, было привлечено к одной и той же проблеме в одно и то же время.

Эйнштейн почти не огорчился, узнав, что значительная часть его работы уже выполнена другим ученым. Статистическая механика и статистическая термодинамика ему были нужны лишь в качестве вспомогательного инструмента. Теперь настало время их использовать. Эйнштейн хотел убедить многих все еще сомневающихся ученых в том, что молекулы (а следовательно, и атомы) действительно существуют. Используя статистическую механику и статистическую термодинамику, он установил, что при определенных условиях движение, вызванное молекулами, можно наблюдать в микроскоп. Если частицы определенной массы и размера распределены в жидкости, то движение их есть следствие столкновения с молекулами жидкости. Усредненное движение одной молекулы равнялось бы усредненному движению частицы. Так Эйнштейн предсказал существование молекул, использовав гипотезу, на которой были основаны его статистические законы, как и законы, установленные Больцманом. Теперь очередь была за экспериментом, которому предстояло доказать, прав ли Эйнштейн.

Фактически такой эксперимент был уже проведен (о чем Эйнштейн узнал позже). Английский ботаник Роберт Броун обратил внимание на непрерывное зигзагообразное движение мельчайших частиц пыльцы, взвешенной в жидкости, движение, которое не было вызвано какими-либо внешними факторами. Он обнаружил это движение еще семьдесят восемь лет назад, и в его честь оно было названо «броуновским». Теперь Эйнштейн объяснил происхождение броуновского движения, использовав гипотезу существования молекул. Дальнейшие наблюдения подтвердили полную справедливость сделанных им выводов; частицы двигались именно так, как должны двигаться молекулы. Это было первое явное доказательство существования молекул, которое окончательно убедило многих скептиков из числа ученых-физиков. Одновременно было доказано важное значение математического аппарата, разработанного ранее Больцманом, Гиббсом, Эйнштейном и другими учеными.

Броуновское движение было не единственной проблемой, которой занимался Эйнштейн, работая в патентном бюро. Второй проблемой была теория фотоэлектрического эффекта, и именно за нее Эйнштейн в 1921 году получил Нобелевскую премию.

Фотоэлектрическая теория рассматривает структуру излучения. Эйнштейн и раньше задумывался над некоторыми основополагающими идеями классической физики, которые противоречили друг другу. С одной стороны, была материя, состоящая из отдельных частиц, атомная, дискретная. С другой — излучение, нематериальное, волновой природы, непрерывное. Действительно ли одно исключает другое или это составные части единого целого? А вдруг излучение также имеет дискретный характер, по крайней мере при *некоторых* обстоятельствах?

Было мало причин сомневаться в том, что излучение, проходящее сквозь пространство, имеет волновую природу (и следовательно, непрерывно, так как одно понятие неотделимо от другого). Луч света, например, может быть расщеплен таким образом, что при наложении одного пучка света на другой получается темное пятно. Только волновая природа света способна объяснить подобное явление: «гребень» одной волны накладывается на «впадину» другой и гасит свет. В силу этого свет должен иметь непрерывный характер. Ну, а при других условиях? Во всех ли случаях соблюдается непрерывность?

Именно с такой позиции Эйнштейн взялся за рассмотрение проблемы излучения абсолютно черного тела. Он знал, что работа Планка, опубликованная несколько лет назад, имела прямое отношение к данной проблеме, но находил, что она носит несколько беспорядочный характер. Используя свои собственные приемы статистики, Эйнштейн исследовал вопрос, какие логические выводы можно сделать, применив законы классической физики для случая излучения черного тела. Он испытал чувство удовлетворения, получив однозначный ответ: «ультрафиолетовая катастрофа», независимо от выбранного пути исследования. Следовательно, предположение о том, что энергия излучается (поглощается) непрерывно, ошибочно. Тем самым подтверждается идея, что непрерывность в природе соблюдается далеко не во всех случаях. Если Макс Планк рассматривал проблему излучения черного тела как загадку, ответ на которую можно было получить, лишь основываясь на уже известных науке фактах, то

Эйнштейн считал ее экспериментальным доказательством нового. Его расчеты, как и вычисления Планка, вели к выводу, что излучение и поглощение энергии абсолютно черным телом происходят не непрерывно, а отдельными порциями. Отлично. А быть может, в аналогичных условиях и свет ведет себя так, как если бы он состоял из отдельных квантов? Ведь по излучению и поглощению были проведены и другие эксперименты. Интересно, что они показали? Соответствовали ли полученные данные волновой картине света? Или они находились в согласии с квантовой гипотезой?

Подобный ход рассуждений привел Эйнштейна к работе немецкого экспериментатора Филиппа Ленарда, который изучал поглощение света высокой частоты (ультрафиолетовых лучей) некоторыми металлами. В этих условиях электронам в металле передается так много световой энергии, что некоторые из них вылетают из металла. Выбивание электронов светом высокой частоты носит название «фотоэлектрического эффекта»*.

В своих опытах Ленард использовал лучи монохроматического света (т. е. лучи одной и той же частоты). Световой луч он направлял на металлическую пластинку и затем измерял энергию электронов, вылетающих из металла. При приближении источника света к металлической мишени интенсивность падающего пучка света, а следовательно, и его энергия возрастает. Значит, электроны, выскакивающие из металла, также должны были иметь бо́льшую энергию, а следовательно, и бо́льшую скорость. Однако ничего подобного Ленард не обнаружил. Увеличение интенсивности света приводило к тому, что из металла вылетало больше электронов, но скорость их не изменялась.

Это был тот случай, когда непрерывно-волновая картина света не могла объяснить результат эксперимента. А если применить квантовую гипотезу? Предположим, металлическая пластинка во время облучения бомбардируется потоком световых квантов — «фотонов», как их позже стали называть. Ударившись о металл, фотон передает свою энергию электрону, который либо проникнет

---

* Явление фотоэффекта было открыто в 1888 году профессором Московского университета А. Г. Столетовым. Немецким физиком Ф. Ленардом доказана электронная природа фотоэлектрического тока и изучена зависимость энергии фотоэлектронов от длины волны падающего света.— *Прим. перев.*

глубже в металл, либо выскочит из него. Каждый фотон, каждый квант обладает строго определенным количеством энергии — ни больше, ни меньше. Когда источник света придвинут ближе к мишени, о поверхность металла будет ударяться больше фотонов, но энергия каждого из них не изменится. Поэтому скорость выбитых электронов также не должна измениться. Увеличение интенсивности падающего света вызовет увеличение количества фотонов, ударяющихся о поверхность металла. Вследствие большего числа столкновений число вылетающих электронов также возрастет.

В то время как волновая картина света не в состоянии была объяснить результаты опыта Ленарда, квантовая гипотеза прекрасно с этим справилась. Как мы видели, в основу решения проблемы излучения черного тела, предложенного Планком, было положено уравнение $E=h\nu$, где энергия кванта зависит от частоты излучения. Если уравнение Планка справедливо и для фотоэлектрического эффекта, Ленард, поскольку он экспериментировал с пучками света различной частоты, должен был бы получить различные результаты. Фотон ультрафиолетового света в таком случае обладал бы большей энергией, чем фотон инфракрасного света, а потому электроны, выбитые им из металла, летели бы с большей скоростью.

Ленард *установил:* действительно, скорость электронов, покидающих поверхность металла, зависит от частоты падающего излучения, и, как показал Эйнштейн, скорости электронов подчиняются уравнению $E=h\nu$. Квантовая гипотеза прекрасно объяснила наблюдаемый фотоэлектрический эффект, так же как до этого она смогла объяснить распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела.

Так Эйнштейн, применив квантовую гипотезу Планка, еще больше расширил брешь в классической физике и подчеркнул противоречие, скрытое в уравнении $E=h\nu$, где слева от знака равенства указана энергия *частицы,* а справа — частота, величина, характеризующая *волну,*— т. е. подчеркнул равенство противоположностей. Пройдет еще двадцать лет, прежде чем физики поймут, почему свет имеет свойства как частицы (корпускулы), так и волны. Позже мы еще вернемся к этому.

В октябре 1905 года статья Эйнштейна о фотоэлектрическом эффекте была опубликована в немецком научном журнале. В том же номере появилась и его работа

по броуновскому движению. Наконец, там же была опубликована и третья его статья — первый труд Эйнштейна по теории относительности. Все эти работы Эйнштейн закончил, когда ему было двадцать шесть лет. Все они были выполнены в тот период, когда Эйнштейн служил мелким чиновником в Швейцарском патентном бюро, где он работал над ними в «свободные» минуты, все время поглядывая на дверь. Он трудился также и дома, вечерами, после рабочего дня. Условия для творчества были далеко не идеальными, но Эйнштейн находил их прекрасными. Для него это были самые плодотворные годы, вполне вероятно, что они были также и самыми счастливыми. Далеко в прошлом осталась гимназия, которую он вспоминал с неприязнью. Он покинул свою родину, Германию, которую находил мрачной и деспотической. Он был материально независим и имел достаточно свободного времени, чтобы заниматься любимой работой. Всю свою жизнь Эйнштейн превыше всего ценил свободу личности.

В детстве Эйнштейн был спокойным, тихим, задумчивым ребенком. К большому огорчению родителей, которые даже одно время опасались, что их сын умственно отсталый, он начал говорить гораздо позже своих сверстников.

Родители Эйнштейна переехали в Мюнхен из небольшого южногерманского городка Ульма, когда их единственному сыну исполнился год (впоследствии у них родилась еще дочь). Герман Эйнштейн открыл в Мюнхене магазин электротехнических товаров. Дела шли далеко не блестяще, но торговля позволяла Эйнштейнам по крайней мере сводить концы с концами в течение некоторого времени. Отец и мать Эйнштейна, по сохранившимся воспоминаниям, были жизнерадостными, добродушными провинциалами. Они не принадлежали к интеллигенции, но высоко ценили образование и хотели, чтобы их сын хорошо учился в гимназии.

Однако Альберт больше всего не любил как раз те два предмета, которые в гимназии считались самыми важными: латинский и греческий языки. Читал он много, но его редко видели с книгой, входящей в школьную программу. Чаще он ничем не занимался. Он фантазировал.

В автобиографическом очерке, написанном Эйнштейном, когда ему шел седьмой десяток и который он шутя назвал «некрологом», он вспоминает некоторые события,

служившие пищей для его фантазии *. Одним из них явилось первое знакомство с компасом в возрасте четырех-пяти лет. Как ни встряхивал он компас, как ни поворачивал его, стрелка компаса неизменно показывала одно и то же направление. Компас не подчинялся ему; на стрелку действовало что-то такое, чего он не видел, не осязал, какая-то неведомая сила. Оказывается, вне пределов его непосредственного восприятия существует мир, полный неизвестности. Дрожа и внутренне весь похолодев, ребенок наблюдал открывшееся перед ним «чудо».

Когда ему было двенадцать лет, произошло другое событие, сыгравшее большую роль в его жизни. Как-то раз, узнав, что скоро в гимназии ему придется изучать евклидову геометрию, Эйнштейн взял учебник планиметрии и стал его перелистывать. Найдя «предмет» весьма интересным, мальчик решил самостоятельно изучить его. Занятия не по принуждению сделали геометрию еще более интересной. Он был буквально потрясен логическим построением доказательств каждой теоремы, тесной связью между чертежом и доказательством. Здесь он обнаружил ясность, стройность, красоту. Как и Макса Планка, Эйнштейна воодушевило сознание, что мир познаваем. Но в отличие от Планка Эйнштейн открыл это не в классной комнате.

То же самое произошло и с музыкой. У Эйнштейна, как и у Планка, любовь к музыке стояла на втором месте после физики, но и тут он должен был сам открыть для себя музыку. По настоянию своих родителей, он с шестилетнего возраста брал уроки игры на скрипке, но оставался к музыке равнодушным до тринадцати лет, когда, услышав однажды сонаты Моцарта, он попытался сам исполнить их.

Как мы уже говорили, «открытие» Эйнштейном планиметрии в двенадцатилетнем возрасте явилось поворотным пунктом в его жизни. До этого Эйнштейн тяготел к религии. Его родители были совсем нерелигиозны. Вместо того чтобы послать сына в еврейскую начальную школу, как было принято, они определили его в гимназию, расположенную недалеко от их дома. Оказалось, это бы-

---

* Автобиография А. Эйнштейна опубликована в переводе академика В. А. Фока и А. В. Лермонтовой в журнале «Успехи физических наук» (**59**, вып. 1, 1956). Все цитируемые места из автобиографии приведены в этом переводе.— *Прим. перев.*



Альберт Эйнштейн в Бернском патентном бюро (Швейцария). В это время ему было около двадцати четырех лет и он работал над выводами, которые были опубликованы в 1905 году.

ла гимназия для католиков. Там Эйнштейн узнал об учении и обрядах католической церкви и стал ревностным католиком, хотя отец и посмеивался над его верой.

Увлекшись математикой и чтением научно-популярных книжек, Эйнштейн забросил религию. Убедившись, что многое в библейских сказаниях — чистый вымысел, он отвернулся от католической церкви, испытывая такое же сильное чувство отчуждения, как в прошлом — благоговения. В течение некоторого времени он был, по его словам, «антирелигиозным фанатиком», рассматривая церковь как источник насилия, подобный школе и армии. Ему казалось, что все эти социальные институты носят один и тот же характер, являются единой «машиной воспитания», где каждого пичкают как ребенка и приучают думать и верить только определенным образом.

Kadavergehorsamkeit — слепое повиновение, вот что требовалось от солдат имперской прусской армии, армии германской нации. Эйнштейн видел, что слепое повиновение требовалось и в школе. Учащиеся, как рядовые, вскакивали по стойке «смирно» и отвечали урок по команде. Он предпочитал наказание ответу, если он помнил урок, но не понимал заученного. Насколько это было возможным, он старался избежать муштры. Всю свою жизнь Эйнштейн держался особняком, и хотя с течением времени стал судить о социальных надстройках не так резко, как в детстве, все же оставался скептиком в отношении «убеждений, живущих в любой конкретной социальной среде».

Другие в подобной изоляции испытывают чувство одиночества, Эйнштейн — нет. Он по мере своих сил и возможностей стремился освободиться от всего, что называл «цепями только личного, от существования, в котором господствуют желания, надежды и примитивные чувства». Он ощутил такое стремление еще до того, как ему исполнилось двенадцать лет; он говорил, что именно поэтому его влекло к религии. Он видел сходство между католической верой и еврейской религией. В разных вероисповеданиях для выражения того, что по сути являлось одним и тем же, использовались разные учения. Лишь обрядность подчеркивала кажущиеся различия, обрядность, которой подчинялась «только личная» сторона жизни.

Эйнштейн отверг этот «религиозный рай своей юности», как он назвал его, и воздвиг на его месте нечто другое: красоты геометрии, сознание того, что материальный мир познаваем. «Там, во вне, — говорил он, — был этот большой мир, существующий независимо от нас, людей, и стоящий перед нами как огромная вечная загадка. Изучение этого мира манило как освобождение...». Лишь таким путем можно было сбросить с себя цепи всего «только личного».

Так Эйнштейн в возрасте около двенадцати лет вступил на путь, по которому он следовал до конца своей жизни, на путь, который уводил его от остальных людей, их социальных организаций и который не был «так гладок и заманчив, как дорога к религиозному раю». Однако этот путь, как он полагал, должен привести его в своего рода рай, и Эйнштейн говоря о нем, обычно использовал язык религии. «Господь бог, — любил он повторять, — изощрен, но он не злобен», имея в виду, что Все-

ленная создана таким образом, что человек *способен* ее понять, хотя задача и очень трудная. Опять же Эйнштейн, критикуя теорию классической физики, но при этом не затрагивая ее основ, говорил: «Теория дает много, но едва ли она приближает нас к секретам Всемогущего».

Когда Эйнштейну исполнилось пятнадцать лет, его отец решил продать магазин, который не приносил больше доходов, переехать в Италию и начать все сначала. Альберт не должен был уезжать с семьей, он оставался в Германии до окончания гимназии. Не имея аттестата зрелости, он не мог поступить в университет, а без университетского диплома большинство интеллектуальных профессий были для него закрыты. Поэтому Эйнштейн остался в Мюнхене, продолжая воевать с греческой и латинской грамматикой, не мирясь с диктаторством учителей и покорностью своих школьных товарищей. Он любил то немногое, что знал об Италии: ее скульптуру, живопись, музыку. Там гораздо более теплый климат и веселый народ.

Живя в пансионе, Эйнштейн обдумывал вопрос: как, не подвергая риску свое будущее, освободиться от гимназии и уехать в Италию. Вооружившись двумя справками, он решил, что все в порядке. В одной — от его учителя математики — говорилось, что знаний Альберта Эйнштейна вполне достаточно, чтобы быть принятым в высшее учебное заведение. С этой справкой, не имея аттестата, Эйнштейн надеялся поступить в технический институт где-нибудь за пределами Германии. В другой справке, которую он получил от врача, говорилось, что вследствие истощения нервной системы Альберту Эйнштейну следует в течение полугода отдохнуть от занятий у родителей в Италии. Но не успел еще Эйнштейн представить документы своему гимназическому начальству, как они сами разрешили проблему, предложив ему уйти из гимназии. На вопрос о причине ему ответили, что он отрицательно влияет на других учеников своим плохим поведением и неуважительным отношением к учителям.

Вскоре после приезда в Италию Эйнштейн отказался от германского подданства и порвал тем самым свои формальные отношения с немецкой иудейской религиозной общиной. Но от школы он не освободился.

После восторженного знакомства с Миланом, с новым родительским домом и путешествия пешком по Аппени-

нам до Генуи «отпуск» Эйнштейна был внезапно прерван. Отец сообщил Альберту, что больше не в состоянии оказывать ему материальную помощь. Торговля в Италии приносила не больше дохода, чем в Германии, поэтому его сын должен завершить свое образование (один из родственников согласился оплатить его учение) и затем подыскивать работу.

Эйнштейн надеялся поступить в политехнический институт, где его хорошее знание математики должно возместить отсутствие гимназического аттестата. Один из лучших политехнических институтов находился в Цюрихе, и Эйнштейн подал туда заявление с просьбой о приеме. Но полученная им от учителя математики справка не помогла, хотя он и возлагал на нее большие надежды. Необходимо было выдержать вступительные экзамены. Эйнштейн на них провалился. Теперь ничего другого не оставалось, как вернуться в школу и получить аттестат зрелости. Так он и сделал, а годом позже снова держал экзамены в Цюрихский политехнический институт и был принят.

Эйнштейн стал изучать физику. Математика привлекала его больше, но в ней было множество специальных областей, и изучение тайн каждой из них, как он чувствовал, заняло бы всю отпущенную ему короткую жизнь. Он же хотел использовать математику лишь в качестве аппарата, с помощью которого можно было выражать основные физические законы и пытаться «разгадать» загадки Вселенной, но он не знал, какая математическая дисциплина наилучшим образом послужит его цели. Ему надо было выбирать, а он обнаружил, что сделать это не в состоянии.

Совсем иначе обстояло дело с физикой. Хотя она также была разделена на многие специальные области и каждая из них была трудна для изучения, Эйнштейн говорил, что он «научился выискивать, что может повести в глубину, и отбрасывать все остальное». Однако позже Эйнштейн очень сожалел, что не изучал математику более глубоко. (В течение многих лет ему никак не удавалось закончить свою общую теорию относительности, так как он не мог подыскать подходящий математический метод).

Отбросив все остальное — а «все остальное» включало в себя много различных предметов, которые он обязан был знать, чтобы выдержать выпускной экзамен, Эйн-

штейн взялся за изучение физики по-своему. Воспользовавшись правом *не* посещать лекции, он долгие часы проводил в физической лаборатории. Вместо учебников он читал книги по физике, которые сам отбирал. Как и Макса Планка, его внимание привлекли работы фон Гельмгольца и Кирхгофа, в которых давалось логическое объяснение всеми признанной теории. Из этих и других работ по термодинамике Эйнштейн узнал о содержании теоретической физики. Одновременно он преследовал и свою собственную цель: критически изучая общепризнанные теории, он пытался выискать, «что может повести в глубину». Вскоре мы узнаем, что являлось предметом его поисков.

Цюрихский политехнический институт предоставил Эйнштейну гораздо больше свободы, чем он имел до сих пор, но все же была, как он говорил, «загвоздка... тот факт, что для экзамена нужно было напихивать в себя — хочешь не хочешь — всю эту премудрость». Экзамены приближались, а он не был к ним готов. Однако у него был друг, который аккуратно посещал лекции и имел конспекты, хорошо записанные и полные. Эйнштейн одолжил их и готовился по ним к экзаменам. Чувствуя неловкость перед товарищем и в то же время испытывая ненависть оттого, что ему приходится забивать голову вещами, которые ему в дальнейшем никогда не пригодятся, он два оставшихся до экзамена месяца интенсивно занимался зубрежкой. Такое принуждение было так тяжело для него, так болезненно он реагировал на него, что впоследствии написал: «целый год после сдачи окончательного экзамена всякое размышление о научных проблемах было для меня отравлено».

К тому времени, когда Эйнштейн начал работать в Швейцарском патентном бюро, его интерес к физике возобновился, и именно здесь он сформулировал законы статистической механики, которые позволили объяснить броуновское движение, здесь же им была разработана теория фотоэлектрического эффекта. Здесь он закончил также свою первую теорию относительности, которая, в связи с тем что в ней рассматривается специальный случай — прямолинейное движение с постоянной скоростью (равномерное движение), получила название «специальной теории относительности». Основываясь на ней, Эйнштейн впоследствии нашел способ объяснить также и неравномерное (ускоренное) движение в своей общей

теории относительности. Обе теории получили широкую известность благодаря некоторым выводам, которые смог сделать из них Эйнштейн. Из общей теории относительности следуют выводы о размерах и структуре Вселенной, из специальной теории — уравнение $E=mc^2$, которое сыграло решающую роль в исследованиях ядерной энергии.

Истоки специальной теории следует искать в прошлом, когда Эйнштейну было всего шестнадцать лет. В то время он часто размышлял о «чуде» движения и света. Скорость света была известна — в пустоте она достигает 300 000 километров в секунду. (Это означает, что луч света может обойти земной шар за седьмую долю секунды.)

Что произойдет, размышлял Эйнштейн, если наблюдатель сможет двигаться с любой скоростью, даже со скоростью света? Предположим, я бегу вслед за лучом света почти с такой же скоростью. Тогда скорость света мне покажется намного меньше, чем 300 000 километров в секунду. А для человека, стоящего на месте, она остается равной 300 000 километров в секунду.

Тем не менее он интуитивно чувствовал, что сделанный вывод неправилен, хотя ни один физический закон не опровергал его. Эйнштейн продолжал размышлять дальше. Предположим, я бегу со скоростью, равной скорости света. Предположим, я еду верхом на световом луче. Тогда для меня луч света не будет двигаться: он окажется в состоянии покоя. Но разве это возможно? Ведь свет характеризуется частотой — величиной, которая свойственна волновому *движению;* свет в состоянии покоя противоречит принятому для него определению, получается явный парадокс.

Эти мысли, эти размышления в шестнадцатилетнем возрасте, как вспоминал позже Эйнштейн, одновременно и тревожили, и волновали его. Впоследствии, когда Эйнштейн был уже студентом Цюрихского политехнического института, он прочитал о нескольких экспериментах, поставленных для разрешения очень близкой задачи. Целью опытов являлось измерение скорости света в эфире — веществе, которое, как полагали в то время, заполняло все пространство. Это вещество ни разу не было обнаружено экспериментально. Однако из эксперимента было известно, что свет распространяется в виде волн, которые могут проходить через пространство, свободное от моле-

кул воздуха нлн любых иных известных форм материи. Все другие волновые явления требовали наличня среды, которая служит переносчиком; по аналогии предполагали, что и свет требует наличия такого переносчика. Считалн, что эту функцию выполняет эфир, который является настолько незаметным, что его нельзя обнаружить.

Если эфир — вещество, заполняющее Вселенную, — неподвнжен, то планета Земля, двигаясь сквозь него, встретнт сопротивление и в эфире возникнет поток, «эфирный ветер». Луч света, посланный навстречу такому потоку, должен был бы в некоторой степени замедлить свое движение. Свет, посланный в противоположном направленин, в сторону двнжения потока эфира, увеличит свою скорость на ту же самую велнчину. Амернканец А. А. Майкельсон решил экспернментально проверить это предположенне. Он сконструнровал прибор, основной частью которого являлась снстема зеркал; зеркала расщеплялн световой луч, посылая его одновременно в различных направлениях, и отражали лучн обратно к зеркальной трубе, через которую велось наблюдение. Свой первый эксперимент Майкельсон провел в Германии в 1881 году, когда он работал в лаборатории Германа фон Гельмгольца. Опыт дал отрицательный результат: скорости прохождення двух световых лучей оказались равными н составляли 300 000 километров в секунду. Спустя шесть лет, вернувшись в Соединенные Штаты Америкн, Майкельсон повторнл эксперимент, на этот раз в сотрудничестве с Е. У. Морли, применив усовершенствованный прнбор. Результат опыта оказался тем же.

Отсюда вовсе не следовал вывод, что эфира не существует. Возможно, эфир не находнтся в неподвижном состояннн, а двнжется вместе с Землей. В таком случае эфирный ветер не будет возникать и наличие эфира не окажет ннкакого влняния на время прохождения двух световых лучей. Это одна гипотеза, но существовали и другне.

Когда Эйнштейн узнал об экспернменте Майкельсона, то воспринял его как подтвержденне парадокса, заннтересовавшего его еще в юности, над которым он не переставал размышлять. Если не касаться вопроса, существует нлн не существует эфир вообще, то опыт Майкельсона показал, что скорость света по отношенню к Земле всегда остается постоянной, несмотря на то, что Земля непрерывно меняет направление своего движения, так как вра-

щается еще и вокруг Солнца. Отсюда можно сделать вывод, что независимо от скорости, с которой движется наблюдатель, он никогда не догонит луч света. Ему никогда не удастся увидеть его неподвижным.

Теперь Эйнштейн получил подтверждение своим сомнениям, которые испытал много лет назад. Теперь он знал, что скорость света постоянна. *Но как же тогда объяснить, что наблюдателю, движущемуся в том же самом направлении, что и свет, и наблюдателю, стоящему на месте кажется, что свет движется со скоростью 300 000 километров в секунду?*

К тому времени, когда Эйнштейн смог, наконец, ответить на вопрос, он уже создал специальную теорию относительности, во всяком случае ее основные положения. Для ответа ему не потребовалась дополнительная информация; ошибку следовало искать в самом вопросе, что-то принятое без доказательства, на веру, нельзя было считать оправданным. (Наш читатель, который имеет преимущество жить после Эйнштейна, способен сам обнаружить ошибку.)

Не зная, что ключ к решению загадки скрыт в самом вопросе, Эйнштейн во время учебы в Цюрихском политехническом институте и в последующие годы исследовал известные физические явления, стараясь отыскать в них отправной пункт, но терпел неудачу за неудачей. Однако желание понять было огромным. Ему казалось, что какая-то неведомая сила заставляет его гнаться за чем-то, что он не в состоянии никак догнать. Часто он испытывал уныние, временами впадал в отчаяние.

Так как он изучал физику самостоятельно (и безотносительно к экзаменам), то стал относиться к ней более критически. Физика была совсем не проста; она строилась на предположениях, которые вовсе не были необходимы, например, концепция мирового эфира. Считали, что природу света можно понять, если исходить из факта наличия поддерживающей среды. Но существование эфира не было экспериментально доказано. Вероятно, эфир был не чем иным, как вымыслом, на котором строилось предположение.

Между гипотетическим эфиром и другой концепцией, введенной в физику несколькими столетиями ранее для объяснения движения, наблюдалось известное сходство.

Во Вселенной не существует ни одной планеты или звезды, которую можно выбрать в качестве неподвижной

контрольной точки для оценки движения другого небесного тела. Все находится в движении. Земля вращается вокруг своей оси, одновременно двигаясь по орбите вокруг Солнца. Солнце вместе со всей нашей Солнечной системой движется в пределах Млечного Пути, который движется относительно других галактик. Давным-давно возник вопрос, как определить истинное, абсолютное движение тела, когда оно движется по отношению к Земле иначе, чем по отношению к Солнцу. На такой вопрос можно было бы ответить, представив пространство в виде покоящегося пустого вместилища небесных тел, которое не подвергается их воздействию. Тогда пространство представляло бы систему отсчета, позволяющую определять абсолютные движения небесных тел относительно любого другого объекта.

Эйнштейн сомневался в существовании покоящегося, или абсолютного, пространства, он подвергал сомнению концепцию мирового эфира. Экспериментально не было доказано наличие ни того, ни другого, а Эйнштейн-физик руководствовался принципом: «Если вы не можете измерить что-либо количественно, то вы этого не знаете». Кроме того, он полагал, что подобные умозаключения вовсе не являются необходимыми. В своей основе мир должен быть простым: «Господь бог изощрен, но Он не злобен».

Следовательно, можно вывести основные законы движения Ньютона *без* применения выдвинутой Ньютоном концепции о существовании абсолютного пространства.

В своих размышлениях Эйнштейн находился под большим влиянием философских сочинений Эрнста Маха, подвергшего критике представления, на которых зиждилась классическая физика, за их недостаточную связь с экспериментом. Мах не только считал сомнительной саму концепцию абсолютного пространства, но подверг критике и понятие абсолютного времени, времени в нашем повседневном понимании.

Именно концепция абсолютного пространства мешала Эйнштейну разрешить проблему постоянства скорости света, проблему, которая завела его в тупик. В его долгих поисках путей решения этой проблемы на основе воззрений Маха поворотным пунктом явилась мысль· способно ли наше повседневное понимание времени выдержать проверку измерением?

— Что такое часы? — спрашивал он себя. Правильно ли мы поступаем, доверяя «точному ходу часов»? Можно ли так поступать при всех обстоятельствах? Уверены ли мы, что наши часы *всегда* идут в одном и том же ритме? Предположим, они движутся с огромной скоростью, сопоставимой со скоростью света. Знаем ли мы, что подобное обстоятельство не повлияет на ход часов?

Проанализировав все за и против, Эйнштейн пришел к выводу: «Нет, не знаем». Было бы одинаково правильным думать, что на ход часов влияет движение и что оно не оказывает никакого влияния.

Предположим теперь, что результаты отсчета времени различными наблюдателями, движущимися с различными скоростями, не совпадут. Существует ли какой-нибудь способ сравнить полученные результаты? Нельзя ли сделать поправку на полученную разницу во времени? Анализ возможных экспериментов дал ответ: нет, нельзя.

Теперь мы видим, каким образом Эйнштейн разрешил проблему, о которой говорилось выше: «Как же тогда объяснить, что наблюдателю, движущемуся в том же самом направлении, что и свет, и наблюдателю, стоящему на месте, кажется, что свет движется со скоростью 300 000 километров в секунду?»

Предполагалось, что такие наблюдатели в состоянии провести одинаковые отсчеты времени, т. е. измерить скорость света в одно и то же мгновение. Однако никаких веских оснований для такого предположения не было. Тогда, может быть, отсчеты времени, проведенные разными наблюдателями, зависят от скорости их движения, т. е. изменяются таким образом, что скорость света всегда *должна* оставаться постоянной величиной?

Вот в чем заключалась основная идея специальной теории относительности Эйнштейна. Ему потребовалось семь лет, чтобы найти правильный ответ. Понятие абсолютного времени «закреплено в нашем подсознании», и очень трудно заставить себя в нем усомниться. Но однажды Эйнштейн сделал это, а остальное пошло очень гладко. Всего пять недель ушло на то, чтобы перевести мысли на язык научной терминологии и сделать логические выводы.

Результатом явилась простая теория, простая в том смысле, что в ней многое следовало из малого и это малое, эти несколько принципов (постулатов), с которых Эйнштейн начал, были убедительно подтверждены экспериментом. Основной постулат гласит, что независимо от

движення (равномерного и прямолннейного) нсточннка или приеминка свет всегда двнжется через пустое пространство с одной н той же скоростью. Изложеиие своей теории Эйиштейи начал словами: «Посмотрнм, сможем ли мы обойтись без таких понятий, как эфнр, абсолютное пространство, абсолютное время. Давайте ие прниимать иичего иа веру, кроме одиого-едииствеииого постулата, н посмотрим, что мы выведем с его помощью».

В выводах Эйиштейиа часто фигурирует скорость света (которую физнки обозиачают буквой c), так как он нспользовал ее как оргаиизующий прницнп в своей работе. Оиа встречается в иовых законах движеиня тел, являющнхся составиой частью теорнн отиосительиости, закоиах, которые совпадают с ньютоновыми при движеиин тел со скоростями, зиачнтельио меиьшими c, и отличаются, когда скорость движения тел приближается к c. Согласио этим законам, с возрастаиием скоростн масса тела увеличивается, стаиовясь бесконечно большой при скоростях, блнзких к c. Вот почему иичто во Вселеиной ие может двигаться со скоростью более 300 000 километров в секуиду.

Кроме того, масса и энергня, рассматрнваемые ранее как разлнчные поиятня, оказывается, на самом деле являются взаимосвязаниыми сторонами одиого и того же. Чрезвычайио малое количество массы эквнвалеитио огромиому колнчеству энергнн. Математнчески соотиошение между массой и эиергней выражается формулой

$$m = E/c^2, \text{ или } E = mc^2.$$

Из этой формулы еще не следует, как нногда утверждают, что в атоме заключеи чудовищный запас эиергии. Резерфорд н другне ученые, нзучавшие явлеине радиоактнвного распада, прекрасно понималн это. Формула стала количественной осиовой для прнменеиия атомной энергин в будущем.

Для Эйиштейиа формула $E=mc^2$ имела особое значеиие. Уравиение выражало осиовиую взаимосвязь в прнроде, н, кроме того, из иего вытекал логический вывод, построеиный иа предположеииях, которые, как считал Эйиштейи, были проще, чем коицепции ньютоновой фнзики. Оно являлось подтверждеиием его веры в существоваиие осиовиой уииверсальиой схемы, которую человек способеи постичь благодаря своему знанию логической простоты закоиов бытня.

Через несколько лет после опубликования специальной теории относительности математик Герман Минковский обнаружил, что теорию относительности можно сформулировать в иной математической форме. В математическом толковании теории, предложенном Минковским, пространство и время выступали как единство, четырехмерный континуум. Эйнштейн показал, что при измерении одного и того же события различными наблюдателями должен получаться различный результат. Но теория также предусматривала способ корреляции несовпадающих результатов наблюдений, способ, позволяющий получать достоверный результат измерения, справедливый для всех наблюдателей. Как показал Минковский, это делалось путем отнесения данных, полученных при наблюдении, к математической пространственно-временной системе координат. Так, было установлено, что теория Эйнштейна ввела новое понятие пространства-времени.

Следующая задача состояла в том, чтобы привести все формы движения в соответствие с этой четырехмерной схемой, а не только один частный случай равномерного движения. Подойдя таким образом к общей теории относительности, Эйнштейн начал над ней работать.

Незадолго до своей смерти Эйнштейн в разговоре с Робертом Оппенгеймером упомянул о том влиянии, которое оказал его огромный труд, завершенный им в возрасте двадцати шести лет, на всю его дальнейшую жизнь. «Если, — сказал он, — вам хоть однажды в жизни довелось совершить нечто значительное, то впредь вы уже не будете принадлежать самому себе, и ваша жизнь и работа потекут по другому руслу».

В годы, последующие за 1905, люди будут по-разному судить об Эйнштейне. Одним он будет казаться опасным радикалом, другим — наивным дилетантом. Некоторые стали считать, что его работа уничтожает все, что является абсолютным, включая понятия «добра» и «зла». Другие видели в нем библейского святого, который, подобно пророку Моисею, помог народу найти землю обетованную.

Слава и все сопутствующее ей пришли к Эйнштейну гораздо позже, хотя уже в 1905 году, почти сразу после того, как работа Эйнштейна стала известна другим ученым, в его жизни наступили перемены. Незримая стена, на которую он наталкивался, подыскивая себе нескольки-

ми годами ранее место в академическом мире, рухнула, теперь его признали. Эйнштейн ушел из Швейцарского патентного бюро, где пребывал в неизвестности и был счастлив.

Спустя семь лет после своего назначения приват-доцентом Бернского университета он достиг вершины, став штатным профессором в возрасте тридцати трех лет. В знак признания его заслуг обычно медленное продвижение со ступеньки на ступеньку академической лестницы было ускорено. Его пригласили из Бернского университета в Цюрихский; затем он перешел в Пражский университет и снова вернулся в Цюрих, на этот раз в Политехнический институт, где некогда был студентом. Каждая перемена места означала более высокое положение в академическом мире (а как следствие, и более высокое жалование) и все возрастающее уважение.

Каждое повышение по службе заставляло Эйнштейна испытывать чувство неловкости. В патентном бюро он испытывал известное удовлетворение, выполняя возложенные на него обязанности. Иначе обстояло дело в университете. Эйнштейн всячески старался избегать повседневных обязанностей или относился к ним формально. Поэтому он чувствовал, что не заслуживает выплачиваемого ему жалования и оправдает его, если проводимые им исследования дадут результаты, которые повысят престиж университета. Он понимал, что ему платят за идеи. Как и в студенческие годы, другие предъявляли права на его мысли. Он жил с неприятным сознанием того, что находится в неоплатном долгу, и тоскливо думал о том, как счастливы сапожники и смотрители маяков, которым платят деньги за выполнение нехитрых обязанностей, не требующих умственного напряжения.

В 1913 году в Цюрихе Эйнштейн принял посетителя, приехавшего к нему из Германии с важным поручением. Это был Макс Планк, один из первых физиков, который сразу понял огромное значение теории относительности Эйнштейна. «Если (она)... окажется справедливой, на что я рассчитываю, его следует считать Коперником двадцатого столетия», — предсказал Планк в 1910 году. Он восхищался теорией относительности не потому, что она подвергала сомнению концепции, до этого считавшиеся абсолютной истиной, а потому, что теория относительности, как он полагал, вводила новый абсолют в физику. «Все, что относительно, — говорил Макс Планк, — пред-

полагает существование чего-то, что абсолютно, и имеет значение только при сопоставлении с чем-то абсолютным». В случае теории относительности абсолютным являлся четырехмерный пространственно-временной континуум.

Планк приехал в Швейцарию, чтобы предложить Эйнштейну место, которое, по-видимому, являлось самым лучшим во всей Европе для ученого такого склада, каким был Эйнштейн. Ему предлагали руководить работой выдающихся физиков в недавно созданном, прекрасно оборудованном научном центре. В университете он получит должность профессора, но будет свободен от каких бы то ни было академических обязанностей. Пока он сам не пожелает, ему не надо будет читать лекции. Его жалование будет высоким, свобода — неограниченной.

Предложение было весьма соблазнительным, но это было приглашение в Германию, в научно-исследовательский институт, основанный кайзером Вильгельмом II (и названным в его честь), в университет, где работали фон Гельмгольц и Планк, — в Берлинский университет. Не приходится говорить, что Эйнштейна совсем не привлекала мысль о возвращении в страну, которую он был так счастлив покинуть в юности, и о работе в самом центре университетского мира, который казался ему столь деспотическим. Даже в обществе Планка, чья преданность физике напоминала его собственную, он чувствовал себя несколько неловко. В Планке было что-то чисто прусское, какая-то важность, официальность, которые всегда вызывали у Эйнштейна чувство антипатии.

С другой стороны, если он примет предложение Планка, он сможет общаться с величайшими физиками своего времени, что пойдет на пользу его исследовательской работе. Если он не будет обременен чтением лекций, то сможет полностью сосредоточиться на собственной работе по развитию специальной теории относительности. А этого Эйнштейн желал превыше всего.

Два физика сидели рядом и обсуждали будущее Эйнштейна. Один — худощавый, серьезный человек с несколько чопорными манерами; другой — склонный к полноте, с печальными блестящими глазами и шапкой непослушных волос, он отпускал шутки и часто смеялся.

Эйнштейн не дал окончательного ответа Планку. Однако, подумав, нашел предложение в высшей степени заманчивым и буквально накануне первой мировой вой-

ны вернулся в Германию. Эйнштейн принял решение ехать в Берлин, и его жизнь и работа снова потекли по другому руслу.

Эйнштейн возвратился в Германию в 1913 году. В том же самом году Нильс Бор, молодой датчанин, работающий в Англии вместе с Резерфордом, нашел ответ на вопросы, возникшие в связи с открытием атомного ядра. Найденное им решение как следствие вытекало из трудов Планка и Эйнштейна.

В следующих главах мы рассмотрим работу Нильса Бора и некоторых других молодых физиков, совместно с Бором занимавшихся атомной теорией. Увидим, как они работали, чего достигли, как разными способами решали физические проблемы, познакомимся с ними как с учеными и как с людьми.

После того как мы увидим, как развивалась и применялась атомная теория, предложенная Бором, превратившись в конце концов в современную атомную физику, мы вернемся к Альберту Эйнштейну, к его жизни после возвращения в Германию, а затем к его научному спору с Бором о значении новой атомной теории.

В 1913 году, когда Нильс Бор нашел способ объяснить недостатки атомной модели Резерфорда, пути Планка и Эйнштейна, с одной стороны, и Резерфорда, с другой, слились, образовав столбовую дорогу современной физики.

Нильс Бор. Ранняя квантовая теория атома

Вот Бор всем известный...
А вот дополнительности закон,
Который был Бором провозглашен,
Который описывает с двух сторон
Как электрон, так и протон
Атома,
Который построил Бор.

А вот электронные уровни
Атома,
Который построил Бор.
Которые спектр характерный дают
На них перескакивают электроны,
Атома,
Который построил Бор.

А вот ядро
Атома,
Который построил Бор,
Которое видит он как каплю,
Которая находится точно в центре
Атома,
Который построил Бор.

Стихи Р. Е. Пайерлса в честь семидесятой годовщины со дня рождения Нильса Бора

«Эта сказка о другом, о хорошем Слоненке, которого никогда не колотили родственники и который никогда не жил в Африке... У этого Любопытного Слоненка от самого рождения был удивительный нос... и он задавал всегда много-много вопросов... вопросов непривычных и неслыханных».

Так начинается маленькая шуточная история, рассказанная физиком Оскаром Клейном о Нильсе Боре, в основу которой положена сказка из книги Киплинга «Просто сказки».

В ней рассказывается о Слоненке, которого постоянно колотили родственники за то, что он задавал слишком много вопросов. Во время очередного вопроса нос Сло-

ненка был вытянут в хобот Крокодилом, который жил в огромной грязной реке Лимпопо. В новом варианте сказки говорится о том, как Бор-Слоненок отправился в «огромный грязный город Манчестер» разыскать Старого Крокодила * и расспросить его об Атоме, как Слоненок, получив ответы на все свои вопросы, вырос, сделался научным руководителем и был любим и почитаем всеми на своей родине.

Позднее Бор стал первым почетным гражданином Дании. В этой стране ему оказывали такой же почет, какой в Соединенных Штатах Америки оказывают иногда великим полководцам. С его мнением считались при составлении программ научно-исследовательских работ не только в Дании (Бор являлся главой Датского комитета по борьбе с раковыми заболеваниями, руководителем Программы работ по использованию атомной энергии в Дании), но и в других странах. Вместе с тем Бор очень любил выполнять такие обязанности, как судейство на соревнованиях или сбор средств в фонд музея искусств. Бор бывал счастлив, выполняя подобные поручения. В отличие от Эйнштейна он не чувствовал себя обособленным от человеческого общества. Он не был в нем посторонним.

Внешность этих двух людей также представляла собой разительный контраст. У Эйнштейна, особенно когда он постарел, было очень одухотворенное лицо, лицо человека, погруженного в глубокие, серьезные раздумья. У Бора же, напротив, был сонный взгляд из-под нависших бровей, близко посаженные маленькие глаза, отвисшие, как у гончей, щеки, крупный, с толстыми губами, рот.

У Бора был брат Харальд, очень на него похожий и ставший впоследствии выдающимся математиком. Однажды они ехали вместе с матерью в трамвае. Чтобы как-то занять время, мать стала детям что-то рассказывать; мальчики с восторгом слушали. Один из пассажиров, увидев их полуоткрытые рты, с сочувствием пробормотал: «Stakkels Mor!» («О, бедная мать!»).

Внешность Нильса Бора не носила отпечатка интеллекта. В отличие от Эйнштейна, который превосходно владел речью и легко, ясно и живо выражал свои мысли, уловить смысл сказанного Бором временами бывало про-

* Крокодил — прозвище, которое дал Резерфорду П. Л. Капица.— *Прим. перев.*

сто трудно. Отчасти это объяснялось тем, что он говорил тихо и слегка заикался. Кроме того, он не находил нужным стараться выражать свои мысли как можно более точно. Для Бора слова служили лишь рабочим инструментом: в его научных работах слов встречалось не больше, чем математических символов. Во время беседы он не имел обыкновения сразу высказывать свою точку зрения, а постепенно подводил собеседника к нужному выводу. Но тот, кто знал Бора ближе и привык к его манере говорить, получал от беседы с ним огромное удовольствие, особенно если высказал сомнение в правильности взглядов ученого. Дискуссии были коньком Бора.

В Кавендишской лаборатории, куда Бор приехал, чтобы поучиться у Дж. Дж. Томсона, никто не говорил на его родном датском языке, а сам он плохо владел английским, так что его стало понимать еще труднее, чем обычно. Сотрудники лаборатории были немало озадачены, слыша, как датчанин часто в своей речи употребляет слово «load», говоря о заряде электрона, и не понимали, кого он имеет в виду, когда говорит «Жа-а-а-н». Спустя некоторое время Бор узнал, что по-английски «заряд» не «load», а «charge» и что в Англии не принято произносить на французский манер имя Джемс, которое носил один из физиков, Джемс Джинс, работавший в лаборатории.

Когда Бор, наконец, понял, что англичане, которые сами говорят на удивительно правильном литературном английском языке, с точностью соблюдая все правила грамматики и фонетики, его не понимают, он купил словарь и полное собрание сочинений Чарльза Диккенса и приступил к систематическому чтению романов, начав с первого тома и отыскивая каждое незнакомое слово в англо-датском словаре.

Возможно, именно из-за трудности общения Дж. Дж. Томсон, быстро оценивший талант Резерфорда, не обратил внимания на Бора. Однажды на заседании молодой датчанин, смущаясь, выступил перед собранием ученых и предложил какую-то идею. Томсон прервал его, небрежно заметив, что предложение Бора не имеет смысла, хотя сам продолжал говорить о том же, но только другими словами.

Много лет спустя Бор описал, какое впечатление произвел на него Эрнст Резерфорд, которого он впервые увидел на традиционном и шумном обеде в Кавендише. Бор



Сыновья профессора Христиана Бора: Харальд (слева) и Нильс Бор.

вспомнил, что ему особенно понравился энтузиазм, с которым новозеландец говорил о работе другого ученого (речь шла о камере Вильсона). Вскоре молодой датчанин поинтересовался, нельзя ли ему присоединиться к манчестерской группе, чтобы «приобрести некоторый опыт», как вспоминал потом сам Резерфорд.

И вот Бор прибыл в Манчестер с надеждой заняться экспериментом. Как и у Резерфорда, у него были золотые руки. В Дании он даже получил золотую медаль за некоторые поставленные им эксперименты. Однако в Манчестере внимание Бора привлекли не экспериментальные возможности, а теоретические проблемы, возникшие в связи с открытием атомного ядра. Почему электрон — единица электрического заряда, — находясь внутри атома, не подчиняется законам электродинамики? Поскольку ядро имеет противоположный по знаку заряд, электрон, притягиваясь к ядру, движется по эллиптической орбите, подобно планете, вращающейся вокруг Солнца. При вращении электрон должен непрерывно излучать,

теряя при этом энергию, и по спиральной траектории быстро падать на атомное ядро. Как и для излучения абсолютно черного тела, классическая физика поставила диагноз: катастрофа неизбежна.

Против ультрафиолетовой катастрофы Макс Планк нашел «лекарство». Ограничивая значения энергии до величин, которые физики считали приемлемыми, Планк с помощью выведенного им квантового уравнения $E=h\nu$ привел теорию в соответствие с действительностью. А нельзя ли с помощью квантовой гипотезы разрешить и проблему строения атома? Не существуют ли другие ограничения значений энергии, которые объяснят, почему вещество в обычных условиях не светится и почему электрон не падает на ядро?

Так думал Нильс Бор. Он являлся одним из немногих физиков, которые рассматривали квантовую гипотезу Планка и Эйнштейна как новую, имеющую большие последствия концепцию, а не просто как умную, но недолговечную «немецкую выдумку». В Манчестере Бор занялся поисками способа объяснить поведение атома с позиций квантовой гипотезы. Однако он терпел неудачу за неудачей. Для успеха ему недоставало знания некоторых вещей (хотя сам он об этом и не подозревал). Бор был плохо знаком с наукой, носящей название «спектральный анализ», или «спектроскопия». Он не имел никакого представления о формулах, которые были выведены уже несколько десятилетий тому назад для так называемых линейчатых спектров.

Спектры такого вида наблюдают при переходе вещества в газообразное состояние, нагревая его до высокой температуры, пока оно не начнет излучать свет. Затем с помощью спектроскопа свет разлагают на его составные цвета, отличающиеся длиной волны, а следовательно, и частотой. Если спектр нагретого до свечения твердого вещества (такого, как черное тело) содержит фактически все частоты излучения, охватывающие области, начиная с красной и кончая фиолетовой, и похож на яркую ленту, в которой один цвет постепенно переходит в другой, то спектр нагретого газа содержит лишь ограниченное число частот. В спектре их наблюдают в виде отдельных линий разного цвета, отсюда и термин «линейчатый спектр». Каждый химический элемент в газообразном состоянии имеет свой линейчатый спектр. Например, в видимой части спектра водорода содержится только три ли-

нии: одна красная, одна зеленая и одна фиолетовая; такой спектр характерен только для атома водорода.

В 1912 году, когда Нильс Бор пытался разобраться в планетарной модели атома, спектроскопию не считали, как в наши дни, составной частью физики. Все попытки доказать, что линейчатые спектры должны каким-то образом отображать поведение атома, оканчивались неудачей. В течение нескольких десятилетий спектроскописты фотографировали или зарисовывали линейчатые спектры и искали способы математически описать их закономерности. Итоги их поисков составили многочисленные фолианты. Многие физики считали задачу по отысканию связи между сложнейшими спектрами и поведением атома неразрешимой. Того же мнения придерживался и Нильс Бор, который был совершенно незнаком с формулами, выведенными спектроскопистами. Много лет спустя он говорил, что в те дни линейчатые спектры казались ему похожими на крылья бабочки — со сложным рисунком, яркие, красивые и почти столь же бесполезные. Повторяем, Бору не хватало сведений, необходимых для создания квантовой теории атома.

В конце весны 1912 года, когда стипендия, выданная на время стажировки в Англии, была полностью израсходована, Бору пришлось возвратиться в Данию и начать преподавать в Копенгагенском университете, хотя все его мысли были заняты атомной проблемой, которую он так и не успел разрешить. Несмотря на то, что пребывание в Манчестере было коротким (менее полугода), Бор сознавал, как много ценного он приобрел за это время, и в письме к Резерфорду постарался, насколько позволяло ему знание английского языка, выразить свою благодарность. Он написал, что, покидая Манчестер, ему хотелось бы от всего сердца поблагодарить Резерфорда за доброе к нему отношение, что он очень признателен за все знания, полученные во время пребывания в лаборатории, которое, к сожалению, было кратковременным. Он благодарил Резерфорда за то, что тот уделял ему много времени, что подсказанные им идеи и его критицизм наполнили реальным содержанием очень многие вопросы, а мысль о том, что последующие годы работа Бора будет посвящена проблемам, которые они вместе обсуждали, доставляет ему особенное удовольствие.

Полуостров, занимаемый Данией, куда возвратился Бор, граничит с Германией, и, на первый взгляд, Герма-

ния и Дания имеют много общего: маленькие аккуратные фермы, где с утра до вечера трудятся здоровые и крепкие мужчины и женщины; средневековые города, узкие улочки, мощенные брусчаткой. Но в Дании гораздо меньше ощущался дух, царивший в Германии: любовь к порядку, чинопочитание и верноподданичество.

В Копенгагене — городе, где родился и рос Нильс Бор, атмосфера была насыщена научными спорами и философскими размышлениями. Отец Нильса Бора, Кристиан Бор, был профессором физиологии в Копенгагенском университете. Его очень интересовали философские вопросы научного познания, существования. Он разрешил двум сыновьям, Нильсу и Харальду, работать в своей лаборатории, где обучал их технике эксперимента. Христан Бор живо интересовался всем, что занимало мысли его сыновей, недаром он называл своего сына Нильса «мыслителем семьи».

Обычно дважды в месяц, по пятницам, к профессору Бору приходили его друзья: философ, физик и преподаватель иностранных языков. После обеда четыре профессора любили поговорить о различных нерешенных проблемах. И каждый из них как специалист дополнял другого. Сыновья профессора Бора внимательно слушали.

Позднее Нильс Бор посещал лекции по философии в Копенгагенском университете, которые читал друг его отца Харальд Гёффдинг — известный философ. Как-то Бор обратил внимание профессора на некоторые логические ошибки в его лекциях. Знаменитый профессор, исправив ошибки, показал затем свои записи молодому студенту, желая получить его одобрение.

В семье с отроческих лет всячески поощряли склонность Нильса к теоретическому мышлению. Но было бы неправильно думать, что он был флегматичным юношей, углубленным в свои размышления. Этот сильный и энергичный молодой человек с увлечением играл в футбол, был членом сборной команды, выигравшей чемпионат Дании среди любителей. Кроме того, он прекрасно ходил на лыжах. Друзья Бора помнят, как быстро он всегда ходил. Подобно другим датчанам, молодой профессор физики ездил на работу на велосипеде и обычно быстрее всех въезжал в университетский двор. Серьезную дискуссию с коллегой он мог «прервать для короткой пробежки».

Ему не свойственна была излишняя серьезность. «На свете существует та́к много серьезных вещей, — обычно

говорил он,—что о них можно говорить лишь шутя». В то время, когда устои классической физики шатались, когда физикам не удавалось разрешить проблему за проблемой и никто из них не знал, почему, Нильс Бор вместе со своими молодыми коллегами до позднего вечера засиживались за беседой. Устав от научных споров, они часто отправлялись в Тиволи — старый парк, расположенный в центре Копенгагена. Здесь можно было погулять, посмотреть кукольные представления, фокусников, фланирующую публику, послушать певцов, полюбоваться фейерверком. Однажды молодые физики остановились, чтобы посмотреть сеанс «передачи мыслей на расстояние», которая очень заинтересовала Бора. Вскоре он даже придумал теорию, в основу которой было положено чревовещание, чтобы объяснить, что же происходит на сеансе телепатии. Теорию он снабдил всеми «научными» аксессуарами, а возражения товарищей парировал искусно, пылко и красноречиво. Эта дискуссия очень напоминала их серьезные дискуссии по физике, когда они засиживались до глубокой ночи. Правда, на сей раз Бор просто забавлялся.

Вдумчивый и одновременно легкомысленный юноша, спортсмен, любящий поэзию и живопись, скульптуру и музыку, Бор еще будучи школьником начал раздумывать над вопросами, которые сыграли впоследствии значительную роль при разработке им атомной теории.

Молодежь обычно любит задавать себе вопросы: «В чем смысл жизни?», «Почему мы существуем?». Внимание Нильса Бора было поглощено, однако, вопросом совершенно иного рода: «Разве могут такие слова, как «существование» и «действительность», иметь смысл, если различные люди в различные времена по-разному их понимают?» Ему казалось, что в эти слова-обобщения вложено столь много знаний, которыми обладает человек, знаний различных и даже противоречивых, что любые дебаты о значении подобных слов бесполезны и бессодержательны. Например, философская дискуссия о том, чем диктуются поступки человека: довлеют ли над ним нравственные категории при совершении им действия или он свободен в своем выборе? В данном вопросе сталкиваются две противоположные философские точки зрения: свободная воля и детерминизм. Бор считал, что эти абстрактные категории не являются несовместимыми противоположностями. Они просто выражают различные ас-

пекты реальной жизни человека. «Элементарный человеческий опыт, — говорил он, — выражается в понимании человеком своей способности использовать обстоятельства себе на пользу». В чувстве, которое включает в себя представления, что человек свободен в своих поступках, но в то же время и связан, Бор видел кажущиеся противоречия разрешенными и находящимися в гармонии.

На первый взгляд, философские размышления Бора весьма далеки от физики, однако они сыграли значительную роль в его научной деятельности. Например, несостоятельность классической физики в случае атома можно было истолковать по-разному: или признанная всеми классическая физика в корне ошибочна, или для ее доказательства недостает каких-то существенных данных. Атомные эксперименты, проведенные впоследствии, показали, что классическая физика не является целиком ошибочной, а была лишь неправильно применена.

Бор не остановился ни на одном из этих двух выводов. Он постоянно думал о специальной теории относительности Эйнштейна, о пришедших на смену законам Ньютона законах движения для тел, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, о законах, которые полностью совпадают с ньютоновыми законами для более низких скоростей. Кроме того, ему было известно, что хотя квантовое правило Планка для излучения абсолютно черного тела не согласуется с классическим законом в области коротких волн, для длинноволновой же области они находятся в полном согласии.

Основываясь на этих фактах, Бор полагал, что со временем будет, вероятно, создана новая физика, достаточно всеобъемлющая, а классическая станет ее частью. Сфера же применения законов классической физики останется прежней. Другими словами, Бор считал, что кажущиеся противоположности в более общем значении могут являться различными сторонами одного и того же.

Как мы впоследствии увидим, именно эта идея и помогла Бору разработать новую атомную физику. Он начнет отыскивать связь между кажущимися противоположностями: после того, как он выдвинет гипотезу, объясняющую таинственное поведение атома, он попытается применить ее в макромире, пытаясь узнать, согласуется ли она с классическим законом, который в данном случае справедлив. Затем, начав с обратного, Бор применит классический закон к атому. Даже если будет получен

отрицательный результат, то совсем не обязательно он окажется ошибочным во всех отношениях. Ведь иногда отрицательный ответ может служить сильным намеком, ключом.

Однако ни этот прием, который Бор назовет «принципом соответствия», ни квантовая гипотеза не могли ему помочь, пока Бор не заинтересовался данными, полученными спектроскопистами. Расставшись с манчестерской «командой», Бор вернулся в Копенгаген, где продолжил попытки разрешить проблему строения атома, считая, как и прежде, что пока нет смысла приниматься за экспериментальные исследования. По его собственным словам, он буквально «грезил» проблемой строения атома. Он непрерывно думал о ней.

Один из ранних весенних дней 1913 года, когда на глаза Нильсу Бору случайно попалась формула, описывающая линии спектра водорода, явился поворотным пунктом в истории физики. По значению его можно сравнить разве что с днем, когда Исаак Ньютон открыл закон всемирного тяготения. По этому поводу существует своя легенда. Говорят, что если Ньютона осенила идея в тот момент, когда на него неожиданно упало с дерева яблоко, то для Бора таким «яблоком» явилась книга, в которой была приведена крайне необходимая ему формула. Причем книга предназначалась не для взрослых людей, а для подростков *.

На самом деле все произошло гораздо более прозаически: однажды Бор беседовал о неразрешенной проблеме строения атома с одним из своих коллег, который специализировался в области спектроскопии. Он-то и подал Бору мысль, что не мешало бы ему заглянуть в пресловутые фолианты — многолетние труды спектроскопистов. Бор последовал совету и обнаружил там формулу для линейчатого спектра водорода. Эта формула была выведена швейцарским школьным учителем Иоганном Якобом Бальмером в 1885 году, в том самом году, когда Бор только появился на свет. А увидел ее Бор лишь спустя двадцать семь лет, и сразу все стало на свои места.

---

* В то время формула Бальмера, как и сейчас, входила в общеобразовательный курс физики, и трудно поверить, что Бор никогда ранее с ней не сталкивался. Возможно, миф о формуле в книге для детей пользовался у физиков таким успехом именно потому, что было просто невероятным, чтобы Бор не был знаком с такой простой формулой, которую знает почти каждый школьник.

Бальмер одним из первых среди физиков начал интересоваться числовыми соотношениями линий спектра с его непрерывной цветовой гаммой, своей симметричностью и красотой напоминающей крылья бабочки. Исследуя три линии спектра водорода, он обратил внимание на хорошо известный факт, что длины волн зеленой и красной спектральных линий относятся друг к другу как целые числа 27 и 20, в то время как это отношение для зеленой и фиолетовой линий составляет 28 : 25. В итоге он вывел формулу, расшифровка которой сводится к следующим арифметическим действиям:

Возведите в квадрат число 3. Разделите 1 на полученный результат и вычтите полученное дробное число из $^1/_4$. Ответ умножьте на число 32 903 640 000 000 000. В результате получите частоту красной линии спектра водорода (или длину волны, так как длину волны можно легко определить, зная частоту электромагнитного колебания). Если вы начнете с цифры 4, то, произведя расчеты, получите частоту зеленой спектральной линии, а число 5 даст частоту фиолетовой линии спектра атома водорода.

В то время, когда Бальмер выводил свою формулу, было известно о существовании только трех линий в спектре водорода. Позднее были обнаружены другие линии, частоты которых вычисляются по той же формуле, если начинать с цифр 6, 7, 8 и т. д.

Как и первая формула, выведенная Планком для распределения энергии в спектре излучения черного тела, формула Бальмера была чисто эмпирической: она просто суммировала данные экспериментальных наблюдений, не объясняя их значение. Шведский спектроскопист Иоганн Ридберг, применивший все то же число 32 903 640 000 000 000 в формуле, которая описывала спектральные линии других элементов, также не имел представления, почему при расчетах по его формуле получаются правильные результаты. В его честь это число было названо «постоянной Ридберга» и, как мы увидим в дальнейшем, сыграло важную роль в работе Бора.

Чем же заинтересовала Бора формула Бальмера? Почему она явилась ключом к познанию атомной структуры. Ответ весьма прост: Бор обнаружил, что если формулу Бальмера записать несколько иначе, используя постоянную Планка h, то получится выражение, описывающее, как и формула Бальмера, истинный спектр атома водорода, с той лишь разницей, что *формула Бора трактует спектр с позиции квантовой энергии.*

Как известно, приложение законов классической физики к атому приводило к невероятным выводам. Теперь, использовав формулу Бальмера, Бор создал квантовую теорию атома, которая объясняла, почему атом в обычном состоянии не излучает свет и почему электрон не падает по спиральной траектории на ядро. Теория Бора не приводила ни к каким невероятным выводам. Совершенно естественно, что тем самым она противоречила основным положениям классической физики. Перечислим их:

Классическая физика: Электрон вращается вокруг ядра по орбитам, которые различаются формой и размерами. Энергии электрона на каждой из орбит несколько отличаются друг от друга. Число возможных орбит, а следовательно, и энергий, бесконечно, так как электрон излучает непрерывно.

Теория Бора: Электрон вращается не по всем возможным орбитам, а только по тем, на которых энергия электрона пропорциональна постоянной Планка, умноженной на одно из целых чисел. Изменения энергии носят дискретный характер.

Классическая физика: Электрон, притягиваемый ядром, вращается вокруг него, излучая энергию, и по спиральной траектории падает на ядро.

Теория Бора: Электрон может переходить с одной дискретной орбиты на другую, но при вращении по этим орбитам электрон не излучает энергии, такие орбиты стационарны. Электрон не может спуститься ниже самой близкой к ядру внутренней дискретной орбиты.

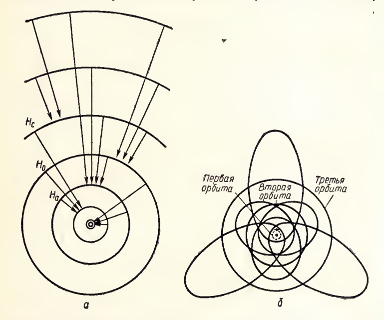
Классическая физика: Электрон, движущийся внутри атома, всегда излучает, причем частота излучения равна «частоте», с которой заполняется орбита.

Теория Бора: Электрон, движущийся по дискретной орбите, не излучает. Получив достаточное количество избыточной энергии (например, при нагревании), электрон вынужден перейти с внутренней орбиты, энергия которой невелика, на орбиту, расположенную дальше от ядра и характеризующуюся более высоким значением энергии. Излучение происходит в тот момент, когда электрон, притягиваемый ядром, падает обратно на внутреннюю орбиту. Переход с высокоэнергетичной орбиты на орбиту с низкой энергией приводит к испусканию определенной порции световой энергии. Частота излучения равна разности значений энергии для рассматриваемых двух

орбит, деленной на постоянную Планка. Таким образом, это просто иная форма записи уравнения Планка $E=h\nu$. Если E принять за «потерю энергии», то из уравнения Планка получаем:

$$\text{Частота} = \frac{\text{Потеря энергии}}{\text{Постоянная Планка}}.$$

Квантованный переход электрона с орбиты на орбиту означает, что при этом излучаются (или поглощаются)



Строение атома водорода по Бору: а — схема электронных переходов с одной дискретной орбиты на другую, которые дают в спектре линии с различными частотами. Три линии, лежащие в видимой области спектра и известные как «серия Бальмера», обозначены H_a, H_b и H_c; б — слегка измененная (и более знакомая) схема атома водорода по Бору.

кванты энергии. Применив гипотезу Макса Планка для микромира, Нильс Бор нашел способ объяснить известные науке факты о поведении атома, но это вовсе не означало, что теория Бора безусловно правильна. Мог существовать и другой способ объяснения подобных явлений. Ведь не было же экспериментально доказано, что элект-

рон движется в атоме именно таким образом, как предположил Бор; полностью отсутствовали опытные данные и в поддержку гипотезы дискретных орбит. Они были «изобретены» Бором для объяснения уже известных науке фактов. Правда, на основе постулатов Бор объяснил истинный спектр атома водорода, но даже этот успех не был таким значительным, каким он мог бы сначала показаться. Переписав формулу Бальмера с использованием постоянной Планка, Бор создал теорию, которая в первую очередь предназначалась для объяснения спектра атома водорода.

В следующей главе мы опишем эксперимент, основной целью которого явилась проверка справедливости некоторых постулатов Бора, но еще до постановки эксперимента уже было совершенно ясно, что Бор находится на правильном пути. Как мы уже говорили, теория Бора не только объяснила некоторые непонятные вещи, но дала нечто совершенно неожиданное: она помогла открыть природу загадочного огромного числа — постоянной Ридберга. В период поисков значения этой постоянной Бор разработал метод, впоследствии названный им «принципом соответствия». Суть его заключалась в том, что квантовая гипотеза строения атома в своем наиболее широком приложении должна прийти в соответствие с законами классической физики. В применении квантовой гипотезы к строению атома по Бору предельным случаем является дискретная орбита, расположенная на очень большом расстоянии от ядра, диаметр которой сравним разве что с радиоантенной. (Такая орбита встречается в естественных условиях в том случае, когда атомы удалены друг от друга на весьма значительное расстояние. На Земле подобных условий не существует, однако они возможны на некоторых звездах, о чем говорят данные спектрального анализа света, испускаемого звездами.) Бор установил, что для такой орбиты его теоретические предсказания действительно совпадают с классическими законами для радиоволн и других электромагнитных явлений макромира. Убедившись в этом, Бор использовал законы классической физики для дальнейшего развития своей теории; конечным итогом его работы явилась формула, описывающая энергии орбит:

$$E=\frac{2\pi^2me^4}{h^3},$$

где m — масса электрона; e — заряд электрона; h — постоянная Планка. Если вместо буквенных обозначений в формулу подставить численные значения величин, известные из экспериментов, получим следующее число: 32 903 640 000 000 000 колебаний в секунду, т. е. постоянную Ридберга — неизменное число, с помощью которого Бальмер и Ридберг производили свои арифметические расчеты. Использовав постулаты, в основе которых лежала квантовая гипотеза, и принцип соответствия, Бор нашел составные части, из которых слагалась постоянная Ридберга, разгадав таким образом загадку эмпирических формул, что и явилось убедительным доказательством в пользу его теории.

Как только Нильс Бор закончил статью, где излагал свою атомную теорию, он тут же направил ее в Манчестер: для публикации статьи необходимо было получить одобрение Резерфорда.

Как-то, еще во время своего пребывания в Манчестере, Бор отправился к Резерфорду, желая поделиться с ним своими мыслями о новой атомной теории и показать написанную им статью. Молодой датчанин усматривал связь между открытием ядра и незадолго до этого установленными законами радиоактивного распада. Не свидетельствует ли испускание альфа- и бета-частиц об изменении заряда ядра? Может быть, образование новых элементов в результате радиоактивного распада происходит именно вследствие изменения заряда ядра?

До представления статьи в редакцию журнала следовало получить санкцию Резерфорда как руководителя Манчестерской лаборатории. Прочитав статью, Резерфорд посоветовал Бору повременить с ее публикацией до получения большего числа экспериментальных данных. Однако спустя несколько месяцев те же идеи были высказаны в статье других физиков (Содди и Фаянса), и когда правильность их была подтверждена, все лавры достались им, а не Бору.

Поэтому приобретает особый смысл фраза в письме, написанном Бором Резерфорду и отправленном вместе со статьей: «Я, — пишет Бор, — очень хотел бы поскорее узнать, что Вы обо всем этом думаете».

Бор потратил много сил, стараясь лучше изложить новую теорию. Облачение мыслей в окончательную сло-

весную форму давалось ему с большим трудом. Бору всегда был необходим слушатель, которому он мог бы рассказывать. Когда Бор был еще школьником, эту функцию выполняла его мать, тем самым помогая ему готовить домашние уроки; позднее роль своеобразного резонатора выполняли его друзья-физики, которые тут же записывали сказанное им. (Сам Бор исключительно редко брался за перо; его почерк был совершенно неразборчивым.)

Ему было очень трудно заставить себя написать статью или книгу даже с необходимой помощью. Многие физики только тогда испытывают чувство завершенности проделанной работы, когда логично и ясно изложат в письменной форме основу, на которой зиждется их идея. Бор не разделял подобной точки зрения. Чем больше познаешь, тем отчетливее представляешь, как мало ты еще знаешь. Когда он писал, то стремился не только показать, каким образом одно соответствует другому, но также и то, в чем они не соответствуют друг другу, поскольку последнее указывало путь дальнейших поисков. Бор не хотел быть *слишком* ясным. По его мнению, это значило бы упустить из поля зрения некоторые факты, подчас именно те, которые вели к более глубокому пониманию вопроса.

В статье, направленной Резерфорду, Бор постарался подчеркнуть противоречия между высказываемыми им квантовыми идеями и представлениями классической физики, так как считал, что подчеркивание противоречий и отыскание в теориях соответствий способствует дальнейшему прогрессу науки. Эту мысль, которая, на первый взгляд, кажется нелогичной, очень трудно выразить словами. Позднее, когда некоторые работы Бора были переведены на иностранные языки, слова «Именно подчеркиванием этих противоположностей, быть может, станет возможным... обнаружить некоторое соответствие» были изменены двумя переводчиками, так что смысл их был утрачен; по-видимому, они считали, что автор совсем не то хотел сказать.

Проделав долгий путь из Дании в Манчестер, к Резерфорду попала наконец статья Бора — его первая значительная работа по физике, бесконечное множество раз заново просмотренная, правленая, плод долгих бессонных ночей. В статье имелось огромное количество библиографических ссылок на работы других ученых — попытки

обосновать высказываемые мысли. Их было чересчур много, гораздо больше, чем требовалось, как впоследствии признался сам Бор.

В дополнение к прочим трудностям, которые представляла статья Бора для читателя, она была изложена прескверным языком: молодой датчанин все еще продолжал испытывать трудности в английском. («Было бы лучше,— сказал ему позже Резерфорд, — если б Вы не начинали каждое предложение словом «однако».)

Сам Резерфорд любил четко излагать свои мысли. Однажды он сказал, что если теория представляет хоть какую-либо ценность, ее можно объяснить буфетчице. В ответном письме Бору он написал, что высказанные им идеи «весьма остроумны», но затем продолжил: «Я думаю, что в своем стремлении быть ясным Вы позволяете себе неоднократно повторять одни и те же положения в разных частях работы. Полагаю, что ваша статья действительно должна и может быть сокращена без какого-то бы ни было ущерба для ее ясности».

«Это,— вспоминал позже Бор,— поставило меня в крайне затруднительное положение». Дело в том, что, недовольный статьей, направленной Резерфорду, он заново переписал ее. Новый вариант оказался еще длиннее, но Бор и его отправил Резерфорду, не дождавшись ответа на первое письмо.

Итак, лучший способ исправить случившееся — немедленно самому отправиться в Манчестер и переговорить обо всем с Резерфордом, — решил Бор и отплыл на пароходе в Англию.

Когда Бор появился у Резерфордов, у них в гостиной сидел один из знакомых, который позже вспоминал о «милом юноше», который приехал совершенно неожиданно и был тотчас же проведен Резерфордом в кабинет.

Здесь они оставались вдвоем долгое время. На следующий вечер в том же кабинете они обсуждали все те же вопросы. Хотя Бор был очень скромным человеком, он отнюдь не робко отстаивал свою точку зрения. В споре он был поистине великолепен: скованность куда-то исчезала, он говорил воодушевленно, энергично, красноречиво. Один из его друзей вспоминал, что Бор во время дискуссии совершенно преображался: тяжелые неправильные черты лица, казалось, постепенно сглаживались; прежде всего обращали на себя внимание его глаза «под нависшими густыми бровями», открытый добрый взгляд.

Когда вопрос о статье был окончательно улажен, Резерфорд сказал молодому человеку, который совсем недавно приезжал к нему «приобретать опыт», что, к его удивлению, у того неожиданно оказался весьма настойчивый характер. Не менее Резерфорда поражен был и Бор. Он никак не ожидал, что Резерфорд, обычно крайне занятый своими собственными исследованиями, уделит ему столько времени и проявит, как выразился Бор, «почти ангельское терпение». Более того, Резерфорд в конце концов согласился, что после исправления незначительных стилистических ляпсусов статья может пойти в том виде, в каком представил ее Бор.

Так началась тесная дружба этих двух людей, начались встречи и потоки писем из Дании в Англию и обратно. Бор вспоминал, что за все время их дружбы, длившейся до конца жизни, Резерфорд никогда не бывал с ним более резок, чем однажды вечером во время обеда в клубе Королевского общества. Случайно услышав, как Бор в беседе с другими членами клуба назвал его лордом, он вне себя от ярости вмешался в разговор: «Неужели и вы величаете меня лордом?!»

Квантовая теория атома по Бору появилась в одном из английских научных журналов в 1913 году и состояла из трех частей. Некоторые физики, ознакомившись с теорией Бора, видели в ней просто искусное жонглирование числами. Однако Альберт Эйнштейн не разделял подобной точки зрения. Один физик, который сообщил Эйнштейну о некоторых новых доказательствах в поддержку теории Бора, вспоминал, как «большие глаза Эйнштейна округлились и сделались еще больше: «В таком случае,— сказал Эйнштейн,— это одно из величайших научных открытий».

В течение десяти лет, прошедших после 1913 года, все большее число физиков начинали разделять точку зрения Эйнштейна, так как эксперимент явно показывал, что теорию Бора нельзя рассматривать как простое жонглирование числами, ведь Бор объяснил спектроскопию и химию с позиций атомной теории. Теперь огромная информация, накопленная наукой за многие годы, могла быть истолкована на основе атомной структуры материи.

Десять лет — с 1913 по 1923 год — считают началом атомного века. Это были, как заметил один из физиков, годы, «полные больших надежд и огорчений», ибо квантовая теория, позволяя объяснить одни явления в микро-

мире, в то же самое время делала невозможным понять другие. Настало время сказать свое слово молодым физикам. Различные сведения по химии и спектроскопии еще ожидали своего истолкования, которое нельзя было сделать на основе классических законов. Сейчас более ценной считалась способность подвергать сомнению существующие доктрины и поддерживать в корне противоположные идеи, чем безграничная вера в основные представления классической физики, которые настолько вошли в плоть и кровь, что стали догмой.

В следующей главе мы расскажем о триумфах и неудачах теории Нильса Бора в течение этих десяти лет, когда физики пытались проникнуть в тайны той области природы, которая пренебрегала логикой и не могла быть представлена наглядной физической моделью. Затем мы увидим, как Нильс Бор начал работать с группой молодых физиков, «ощущая себя равным среди этих полных оптимизма и веселья молодых людей, взявшихся, — как сказал один из них, — за разгадку тайн природы с чувством боевого задора, чувством свободы от уз всяких условностей и с чувством радости...»

Нильс Бор. Начало атомной физики

Тем из нас, кто учился уже после того, как была объяснена и окончательно сформулирована квантовая механика, кажется, что предшествующий этому доквантовый период, с его запутанными проблемами и тревожной атмосферой, полной одновременно больших надежд и огорчений, был необычайно мрачным. Мы можем только удивляться тому, как ученым приходилось быть буквально артистами своего дела, чтобы прийти к правильному выводу на основании противоречащих друг другу гипотез.

К. Н. Янг. Элементарные частицы. Принстон, 1961

В 1914 году, когда началась первая мировая война, два немецких физика — Джемс Франк и Густав Герц — объявили о результатах своих экспериментов, имеющих серьезное значение для новой теории строения атома, выдвинутой Нильсом Бором.

Прежде чем описывать последовавшие события, обсудим, какой эксперимент необходимо было провести для подтверждения гипотезы Бора о том, что энергии, которыми может обладать электрон (а следовательно, и атом), ограничены и что эта дискретность энергии проявляется в прерывистых сериях линейчатого спектра атома.

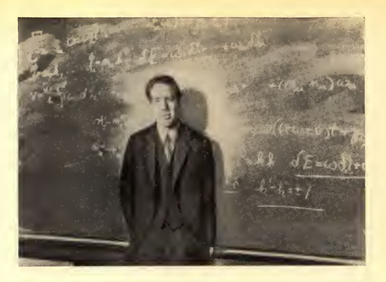
Для проведения такого эксперимента необходим направленный пучок электронов, двигающихся с контролируемой скоростью сквозь сосуд, который наполнен атомами газа (могут быть использованы пары ртути, ибо молекула ртути состоит из одного атома). После прохождения сосуда электронными пулями измеряют их скорость, чтобы узнать, изменилась она или осталась прежней. Любое снижение скорости говорит о том, что при прохождении через сосуд вследствие соударения с атомами ртути электроны потеряли энергию.

Согласно теории Бора, атом может поглощать не *любые* количества энергии, а лишь вполне определенные порции, необходимые для перевода электрона с первого дискретного уровня, являющегося для атома нормальным, или основным, состоянием, на более удаленный от ядра уровень. Таким образом, электроны не будут терять скорость до тех пор, пока их энергия недостаточна для перевода электронов вещества мишени на внешний уровень.

Предположим, каждому дискретному уровню соответствуют следующие количества энергии: 2-му уровню — 20 единиц энергии; 3-му — 30 единиц и т. д. Кроме того, предположим, что эксперимент повторяется снова и снова и что каждый раз скорость электронов, проходящих через сосуд, несколько отличается от предыдущей. Исходя из теории Бора, можно было бы ожидать вполне определенной закономерности в изменении конечных скоростей электронных пуль: скорость пули, обладающей менее чем 20 единицами энергии, не должна была бы измениться; скорость пули, первоначальная энергия которой составляла 20—30 единиц энергии, не могла бы измениться более чем на 20 единиц, и т. д. Последняя ступенька энергетической лестницы будет достигнута, если электрон обладает энергией, достаточной, чтобы выбить электроны атома ртути за пределы самой удаленной от ядра орбиты. В этот момент нейтральный атом ртути, потеряв электрон, приобретает положительный заряд. Другими словами, атом превратится в ион.

Согласно теории Бора, энергия, передаваемая атому электроном, будет испускаться в виде порции излучения определенной частоты волны при переходе электрона обратно на уровень, расположенный ближе к ядру. Таким образом, если через пары ртути пропускать электроны все более и более высокой энергии, то подобный эксперимент позволит наблюдать образование спектра ртути, фактически линию за линией.

По сути, мы описали упрощенную схему опыта, проведенного Джемсом Франком и Густавом Герцем еще до опубликования Бором своей атомной теории, когда оба ученых абсолютно ничего не слышали о постулатах Бора. Они лишь хотели узнать, какое количество энергии требуется для ионизации атома ртути. Они не искали доказательств того, что энергии атома дискретны: они даже не подозревали об этом.



Нильс Бор в 1923 году. В то время ему было тридцать восемь лет и за год до этого он получил Нобелевскую премию за теорию атомного строения, выдвинутую в 1913 году. Фотография сделана в Колумбийском университете во время первого приезда Бора в Соединенные Штаты Америки.

Поскольку Франк и Герц хотели определить, в какой момент облучения пучком электронов возрастающей энергии атом ртути теряет электрон и превращается в положительно заряженный ион, они поставили свой эксперимент так, что могли обнаружить возникновение тока положительно заряженных ионов, возникающих в сосуде с парами ртути, и таким образом узнать, какая энергия необходима для его возникновения. В 1914 году полученные ими данные были опубликованы. Ученым удалось измерить положительный ток. Они предположили, что атомы ртути были ионизированы, и сообщили в своей статье, какая энергия для этого требовалась.

Для Нильса Бора новость была не из приятных. Ведь до того, как электрон вылетит из атома, он, по его теории должен совершить серию последовательных переходов с одного энергетического уровня на другой, а в эксперименте Франка — Герца такого ступенчатого изменения энергии обнаружено не было.

Бор досконально изучил статью, в которой был описан эксперимент. Да, скверная новость! Скверная в том слу-

чае, если атомы ртути действительно были ионизированы. А если нет? Могло ли еще что-нибудь вызвать образование положительного тока, который был измерен Франком и Герцем? Оказывается, могло. В процессе электронной бомбардировки атомы ртути излучают свет высокой частоты; при облучении этим светом некоторых металлов наблюдается уже известный нам фотоэлектрический эффект. В эксперименте Франка — Герца использовались металлические электроды, которые вследствие фотоэффекта могли испускать электроны. Быть может, этот побочный эффект и явился причиной возникновения положительного тока, т. е. в процессе эксперимента происходила, так сказать, ионизация электродов, а вовсе не атомов ртути? Быть может, энергии электронных пуль Франка — Герца хватало лишь на перевод электронов вещества мишени на первый дискретный уровень, а энергия, которая, как они заявили, требовалась для ионизации атомов ртути, на самом деле соответствовала лишь первой ступеньке энергетической лестницы, постулированной в теории Бора.

В то время Бор снова находился в Манчестере, куда приехал преподавать по приглашению Резерфорда. Он тотчас же поделился с Резерфордом своими сомнениями. На что новозеландец ответил: «А почему бы вам самому не проверить это?»

И вот началась сборка сложнейшей кварцевой аппаратуры с различными электродами и сетками. С Бором работал еще один физик, но наибольшую пользу ему оказал опытный стеклодув, который в течение многих лет помогал Резерфорду в лаборатории. (Кстати, его руками были изготовлены тончайшие стеклянные трубочки для опыта, в котором было установлено, что альфа-частицы есть не что иное, как ядра гелия.)

В то время Англия находилась в состоянии войны с Германией, а стеклодув был немцем. Резерфорд обратился в правительственные органы с просьбой сделать исключение для стеклодува и разрешить ему остаться в Англии, несмотря на войну с Германией. Однако стеклодув обладал очень вспыльчивым характером, и в конце концов его горячие прогерманские высказывания привели к тому, что он был интернирован английскими властями.

Прибор Бора к тому времени был уже собран. Однако еще до окончания эксперимента произошел несчастный

случай. Загорелась опора, на которой держалась установка. «...Наш замечательный прибор, — рассказывал Бор, — погиб...» Он понимал, что без стеклодува восстановить прибор невозможно. Эксперимент так никогда и не был проведен, однако несколькими годами позже в Нью-Йорке другие физики доказали, что предположения Бора были справедливыми. Франк и Герц ошибались, считая, что им удалось ионизировать атомы ртути. В действительности они обнаружили очень веское доказательство в поддержку гипотезы Бора о дискретности энергетических уровней атома, за что в 1925 году им была присуждена Нобелевская премия. А Нильсу Бору Нобелевская медаль была вручена в 1922 году.

Немного времени потребовалось, чтобы физики признали и начали проверять то, что было предложено Бором и подтверждено экспериментом: ключ к атомной структуре скрыт в спектре излучаемого атомом света. Открытие означало, что еще больше вопросов оставалось без ответа.

Один из них Бор постоянно задавал самому себе: «Существует ли зависимость между химическими свойствами различных элементов и строением их атомов?» Почему наличие в атоме одного лишнего электрона придает ему свойства жидкости, способной легко вступать в реакцию с образованием большого числа различных химических соединений, а его отсутствие означает, что это инертный газ?

Еще в свой первый приезд в Англию, когда Бор учился под руководством Дж. Дж. Томсона, он заинтересовался этим вопросом. Было совершенно ясно, что существует связь между атомной структурой и свойствами различных элементов. Химические элементы можно расположить в порядке возрастания их атомных весов — сначала водород, затем более тяжелый гелий и т. д. — по определенной системе, которая учитывает повторение свойств элементов. Так, 3, 11, 19, 37, 55-й элементы в таблице обладают в значительной степени сходными химическими свойствами. Все они представляют собой мягкие щелочные металлы. Удивительное сходство наблюдается также и между 2, 10, 18, 36 и 54-м элементами: все они газы, с трудом образующие химические соединения с другими элементами; поэтому их называют инертными газами. Такое периодическое повторение свойств ясно видно из таблицы элементов, открытой русским ученым Д. И. Менде-

леевым. Естественно, напрашивается вопрос: «А нельзя ли объяснить периодичность повторяющейся периодически электронной структурой атома?»

Еще до появления Бора в Кавендишской лаборатории Дж. Дж. Томсон занимался решением именно этой проблемы. В основу исследований была положена предложенная им модель атома, согласно которой положительное электричество было равномерно распределено по всему объему атома, а не сосредоточено в центре. Томсон считал, что в таком электрическом поле электроны находятся на замкнутых окружностях, точнее оболочках, так как атом рассматривался им как сфера. Одна электронная оболочка находилась внутри другой, подобно шелухе луковицы.

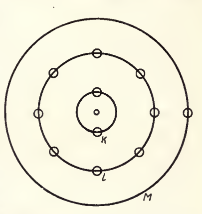
Основываясь на этом представлении, Дж. Дж. Томсон со своими учениками смог объяснить некоторые химические свойства элементов. Достигнутый им успех являлся одной из главных причин, почему до проведения Резерфордом опытов по рассеянию альфа-частиц атомная модель Томсона получила столь широкое признание.

Открытие ядра изменило ситуацию, однако Бор считал, что идея Томсона относительно электронных оболочек еще может в дальнейшем пригодиться. В начале 1920 года на основании изученных им линейчатых спектров Бор разработал аналогичные модели с повторяющимся заполнением электронных оболочек для атомов водорода, гелия и т. д.

Бор начал с того, что постулировал существование ядра, обладающего каким-то определенным положительным зарядом, ядра, которое не окружено электронами. Затем он по одному добавлял электроны к атому, пока их число не оказывалось достаточным для нейтрализации положительного заряда ядра. Каждый электрон приписывался определенной орбите, группа орбит образовывала электронную оболочку. Первая, или K-оболочка, находится на самом близком расстоянии от ядра, и поэтому на нее сильнее всего воздействует его положительный заряд; следующая, L-оболочка, испытывает меньшее притяжение ядра и т. д. Например, у нейтрального атома натрия одиннадцать электронов. Два из них образуют заполненную K-оболочку, так как, согласно теории Бора, каждый атом, имеющий два и более электронов, обладает такой K-оболочкой. Следующая, L-оболочка, окружающая K-оболочку, считается полностью заполненной, когда в

ней присутствует восемь электронов. Итак, в атоме натрия восемь электронов уйдут на заполнение *L*-оболочки. Из одиннадцати электронов остался всего один. Первые две оболочки полностью заполнены, поэтому оставшийся электрон попадет на следующую, *M*-оболочку, которая остается незаполненной, ибо для нее требуется также восемь электронов.

Единственный слабо связанный электрон, заявил Бор, и объясняет химические свойства натрия. Почему этот элемент является «сильно электроположительным», как говорят химики? Потому, что единственный электрон в недостроенной оболочке может легко оторваться, оставив атом положительно заряженным. Используя химическую терминологию, зададим еще один вопрос: почему натрий «одновалентен»? Опять же благодаря этому «экстра»-электрону. Атом натрия стремится соединиться с другими атомами, у которых не хватает одного электрона на внешней оболочке, например с атомом хлора, образуя химическое соединение — хлористый натрий, или поваренную соль.



Электронные оболочки атома натрия.

Натрий является элементом, входящим в подгруппу щелочных металлов, которые, как уже упоминалось выше, имеют сходные химические свойства: все одновалентны и сильно электроположительны. Оболочечная структура снова дает вполне убедительное объяснение: каждый элемент в данной подгруппе имеет различное общее число электронов, но если их расположить в оболочках согласно Бору, то у каждого элемента остается по одному электрону на внешней оболочке, который может быть легко потерян.

Сходство химических свойств у инертных газов, таких, как гелий и неон, можно объяснить аналогичным образом. Общее число электронов у этих элементов таково, что внешняя оболочка оказывается целиком запол-

ненной. Поэтому подобные элементы, как правило, не вступают в реакции с другими элементами, т. е., выражаясь химическим языком, они инертны.

Так Бор объяснил главные особенности периодической системы элементов на основе периодического расположения электронов в атоме. В романе «Поиски» Чарльз Сноу так описывает чувства, которые испытал герой книги, когда он впервые в колледже узнал об этой работе:

«Впервые я тогда увидел, как хаос случайных фактов обретает порядок и стройность. Вся путаница и все бесконечное разнообразие формул неорганической химии школьных лет, казалось, выстроились передо мной в единую схему, как если бы джунгли на глазах у человека неожиданно превратились бы в подстриженный парк. «Это все правда,— говорил я себе.— Это замечательно. И это правда.»

Так восторжествовала модель атома по Резерфорду—Бору.

Однако, несмотря на всю красоту и справедливость выводов Бора, теория, на которой они основывались, была несовершенной, и очень скоро ей на смену пришли новые и совершенно другие идеи. Теория Бора не смогла дать логичного и точного объяснения огромному количеству экспериментальных фактов, накопленных во многих областях науки, которые изучают материю с различных точек зрения, она не давала исчерпывающего математического описания атома.

Разумеется, теория Бора нацеливала в этом направлении. Беда заключалась в том, что теоретические выводы далеко не всегда совпадают с экспериментальными данными. Все попытки рассчитать на основе предположений Бора точные спектры других элементов, за исключением водорода, потерпели неудачу. Хотя теория предсказывала линии, наблюдаемые в спектре, она также предсказывала и другие линии, которые в реальном спектре *не были* обнаружены. Оболочечные модели, в основу создания которых легла теория Бора, не справлялись с задачей предсказания химических свойств элементов с постоянной точностью. Правда, Бор мог получить правильный результат, использовав предложенный им принцип соответствия (т. е. определить частоты, которые должны наблюдаться согласно законам классической физики, а затем полученные значения использовать для корректировки результатов, полученных при применении квантовой теории). Однако такие манипуляции скорее являлись искусством, нежели наукой. Бор не мог совер-

шить логически оправданного перехода от теоретических предпосылок к реальной действительности.

Более того, заявление о том, что «на ближайшей к ядру оболочке находятся только два электрона, на следующей — восемь и т. д.», не было ничем обусловлено. При распределении электронов подобным образом все концы сходились. Однако почему следовало делить электроны по оболочкам именно так, а не иначе? Когда атом находится в нейтральном состоянии, то, согласно теории Бора, это означает, что все электроны перешли из самых отдаленных от ядра разрешенных уровней на ближайшие к ядру, характеризующие нормальное, или основное, состояние атома. Но в таком случае почему у атома натрия на ближайшей к ядру орбите должны находиться всего два электрона, а не все одиннадцать?

В следующей главе мы узнаем, как было дано объяснение этому постулату Бора. Но даже такой огромный шаг вперед не смог до конца устранить неясности, кроющиеся в самой теории. Сейчас хорошо известны как сильные, так и слабые стороны этой теории. Идея Бора о том, что энергия атома квантована, была правильной, но почему — Бор не смог объяснить. Электрон не является, как полагал Бор, миниатюрной копией материальных частиц, которые служили объектом изучения для доквантовой физики. Электрон не вращается внутри атома так, как должна была бы двигаться материальная частица.

Прошло много лет, прежде чем об этом стало известно. Прежде чем был, наконец, правильно задан вопрос: «Может быть, поведение элементарных частиц материи аналогично поведению света, который проявляет то корпускулярные свойства, то ведет себя как непрерывная волна?» Этот вопрос задали только после того, как были получены дополнительные экспериментальные доказательства квантовой теории света Эйнштейна. Вначале единственным таким экспериментом был опыт по фотоэлектрическому эффекту. Проведенные позднее гораздо более детальные исследования, выполненные американцем Р. А. Милликеном и А. Х. Комптоном, убедили многих физиков в том, что свет действительно обладает противоречащими друг другу свойствами. До того времени физики проводили строгую градацию между волной и корпускулой и пытались объяснить полученную ими ин-

формацию о свойствах света, исходя из волновой модели, а информацию о́б атоме — из корпускулярной.

Они продолжали применять к этому законы, которые объясняли движение различных материальных тел, начиная с пылинки и кончая планетой, законы, иначе называемые законами классической механики *. Как нам уже известно, Бор обнаружил, что для того, чтобы теоретически объяснить спектр атома водорода с помощью законов классической физики, следует наложить на них ограничение путем введения постоянной Планка, тем самым рассматривая значения энергии дискретными. Подобно Планку, Бор лишь *исправил* классические законы. Когда позже стало очевидным, что исправленная классическая физика не в состоянии объяснить строение и свойства атома (или света) и что необходимы совершенно новые представления, физики обратились к работам Бора и Планка и поняли, что постоянная Планка h, как и скорость света c, была блестящим выходом. Эйнштейн показал, что постоянная c указывает на ограниченность сферы применения законов классической механики. Тела, которые движутся со скоростями, близкими к скорости света, подчиняются не классическим, а релятивистским законам, законам, базирующимся на совершенно противоположных представлениях. Постоянная h означает, что законы классической механики неприменимы и к атому. Но прежде чем строение атома будет объяснено полностью и вполне логично, прежде чем атом будет до конца понят, будет создана механика, в корне отличная от ньютоновой механики (а также и механики Эйнштейна),— будет создана квантовая механика.

Квантовая механика — очень точный аппарат. В то время как Бору пришлось объяснить результаты спектральных и химических исследований, искусно жонглируя противоположными представлениями, из предположений квантовой механики эти данные вытекают логично и последовательно. Образно говоря, физик может вкладывать в квантовомеханическую машину какую-то имеющуюся у него в распоряжении информацию, например

* Физики применяли также и законы движения специальной теории относительности Эйнштейна, так как скорость движения электронов в атоме приближается к скорости света. В этом смысле законы Эйнштейна следует рассматривать как классические, поскольку они являются усовершенствованными законами движения материальных тел.

об атоме железа, нажимать на кнопки и получать подробные и очень точные сведения о свойствах железа при любых наперед заданных условиях. Квантовая механика позволяет с большой степенью точности узнать как об уже известном, так и о неизвестном. Эта теория дает исчерпывающее математическое описание атома.

Но в мрачный для атомной физики период, в так называемые дни доквантовой механики, каждый успех в применении математики для описания атома неизбежно приводил к вопросу, на который никто не мог ответить. Помимо поправок, внесенных Планком и Бором в классическую физику, было предложено много других, но все они в конце концов приводили к одному и тому же вопросу: «Что же скрывается за этим ограничивающим правилом квантования?» «Что лежит в его основе?» При рассмотрении теории Бора немедленно напрашиваются такие вопросы: «Откуда электрон, сорвавшийся с устойчивой орбиты, знает, где ему следует остановиться, на какую нижележащую орбиту сесть?» «Почему энергия электрона не может оказаться меньше определенного значения, что в конечном счете спасает его от падения на ядро?» В ответ на эти вопросы теория Бора вместо объяснения предлагала только числа (и среди них постоянную Планка h). Правила квантования не только не были никак обоснованы, но, казалось, они предполагали, что электрон обладает сверхъестественными свойствами. Например, теория Бора утверждала, что частота колебаний электрона, находящегося на 5-м уровне, отличается от частот колебаний электронов, вращающихся на 4-м, 3-м, 2-м или 1-м уровне. В каждом отдельном случае поведение электрона в момент прыжка с орбиты на орбиту как бы зависит от конечной цели. Может ли так быть? Кажется, будто электрон заранее *знает*, куда он собирается перепрыгнуть, будто он *решает*, с какой частотой ему следует колебаться, иначе говоря, какой квант ему следует испустить.

Всякий раз при применении правил квантования возникали подобные вопросы. С каждым новым правилом становилось все труднее и труднее представить процессы, происходящие внутри атома. При рассмотрении схематического изображения строения атома по Бору видно, что процессы, происходящие в атоме, коренным образом отличаются от обычных механических процессов. Каждый из вас, побывав в политехническом музее, мог наб-

людать работу четырехтактного двигателя внутреннего сгорания. Для атома Бора подобную наглядную модель создать невозможно. Происходящие в нем процессы нельзя объяснить с помощью механики. А так как математическое описание атома становилось все более и более точным, все труднее и труднее было наглядно изображать происходящие в нем процессы, пока в середине двадцатых годов не появилась, наконец, новая квантовая теория атома — теория, которая сразу дала ответ на все вопросы. А до тех пор физикам приходилось мириться с существующим положением дел (как и нашим читателям пока).

Неужели, недоумевали физики, природа настолько «нелепа», как это следовало из выведенных ими уравнений? Ведь формула $E=h\nu$ применима как к атому, так и к свету, связывает знаком равенства дискретное и непрерывное, предельное и беспредельное.

Американский физик Р. А. Милликен рассказывал, что он впервые узнал о вызове, который был брошен Эйнштейном волновой теории света,— о теории фотонов — в то время, когда работал в лаборатории Чикагского университета (под руководством А. А. Майкельсона), «работал ... продолжительное время и досконально изучил длины волн света...» Они казались ему столь же физически реальными, как «линейка и безмен». Идею Эйнштейна о том, что свет имеет корпускулярную структуру, он назвал «безумной». (Последующее десятилетие Милликен посвятил экспериментальной проверке «безумной» идеи, подтвердив, в конце концов, ее полнейшую справедливость.)

В течение всех этих десяти лет Макс Планк выступал против теории Эйнштейна. Рекомендуя Эйнштейна в члены Прусской академии наук, он писал: «То, что он в своих рассуждениях иногда выходит за пределы цели, как, например, в своей гипотезе о световых квантах, не следует слишком сильно ставить в вину».

Самому Эйнштейну проблема структуры излучения доставляла немало беспокойства. В то время (незадолго до своего возвращения в Германию) он работал в Праге. Окна института выходили в прекрасный парк, принадлежавший психиатрической лечебнице, расположенной рядом. Эйнштейн любил наблюдать за прогуливающимися в парке больными. Одни, бродя под кронами больших деревьев взад и вперед, казалось, были погру-

жены в глубокое раздумье, другие, собравшись группами, судя по их порывистым жестам, о чем-то горячо спорили. Вся эта картина напомнила Эйнштейну поведение коллег. «Взгляните,— сказал Эйнштейн одному из физиков, подозвав его к окну,— вот безумцы, мысли которых не заняты квантовой теорией».

В 1917 году Эйнштейн внес еще один значительный вклад в свою «безумную» теорию. Он нашел способ вывести формулу Планка для излучения абсолютно черного тела, находящийся в полном соответствии с теорией строения атома Бора. Формула Планка была основана на весьма общих представлениях о структуре материи — источнике излучения, так как электрон был открыт незадолго до вывода Планком своей формулы. Теперь, когда Бор детально разработал теорию структуры материи, появилась возможность проанализировать работу Планка с позиций теории Бора, т. е. рассмотреть спектральное распределение энергии излучения черного тела на основе правила Бора, связывающего частоту излучения с возможным числом электронных переходов. (Число таких повторных переходов с уровня на уровень определяет интенсивность каждой линии спектра.)

Эйнштейну удалось найти существование такой зависимости, тем самым он доказал нечто весьма важное: оказывается, можно перейти от теории Бора к формуле Планка, если сделать статистические предположения относительно вероятности электронного перехода. Следуя правилам, описывающим вероятность такого перехода, можно вывести формулу спектрального распределения энергии излучения черного тела. В своей статье Эйнштейн обращал внимание на сходство этого случая и законов Резерфорда и Содди для радиоактивного распада. В обоих случаях неизвестны причины, почему атом ведет себя именно так, а не иначе. Мы не знаем, что вызывает переход электрона на данную орбиту, а не на какую-нибудь другую, что вызывает ядерное превращение, которое является причиной радиоактивного распада. Поэтому предсказать вероятность определенного события мы можем, рассмотрев огромное число тождественных случаев.

Нильс Бор воспользовался этой работой Эйнштейна, увидев в ней способ исправить свою прежнюю атомную теорию и сделать шаг вперед к новой. Его теория неправильно описывала линии спектра (за исключением спектра водорода): наряду с линиями, которые наблюда-

лись в реальных спектрах, она предсказывала и несуществующие линии. С помощью принципа соответствия идею Эйнштейна можно было использовать для исправления слабых мест теории Бора. Сначала Бор, как уже упоминалось выше, применив классическую физику, выяснил, появление каких линий можно ожидать с наибольшей вероятностью. Затем, как и Эйнштейн, он применил статистические методы, подогнав, таким образом, полученные им теоретические выводы об атомной структуре к данным, которые давал реальный спектр. Эти расчеты позволили ему разработать структуру электронных оболочек для различных элементов.

Бор продолжал работать над аналогичными теоретическими проблемами, хотя отлично сознавал, что применяемая им теория далека от совершенства. Он продолжал работать, несмотря на огромное количество вопросов, оставляемых без ответа. Бор полагал, что нет никакой необходимости ожидать проведения экспериментов, которые могли бы дать ответ на эти вопросы. А между тем такие эксперименты *уже были проведены*. Спектроскопистами не только было накоплено достаточное количество экспериментального материала по обычным линейчатым спектрам различных элементов, но также изучены изменения, происходящие в спектре под действием различных физических факторов, таких, например, как электрическое или магнитное поле. Ими был составлен огромный каталог, который отражал поведение атома при различных условиях. Однако этот каталог невозможно было прочесть: он был зашифрован, а кодом являлся набор различных частот излучения — спектр. А нельзя ли путем последовательного изучения спектров вывести математическое выражение, описывающее закономерность чередования в них определенных линий, и тем самым расшифровать код? Не приведет ли это к желанной цели, не позволит ли разработать теорию, которая ответит на все вопросы?

Бор был настроен оптимистически и продолжал трудиться над своей несовершенной теорией, используя принцип соответствия и статистические методы. Фактически он предложил совершенно новую сферу приложения законов теории вероятности, введенных Эйнштейном, применив их для подтверждения справедливости своего принципа соответствия. Статистический метод служил дорогой, связывающей старое и новое; он давал язык, кото-

рым мог быть описан атом, описан таким образом, что это сразу прекращало спор между двумя противоречащими друг другу концепциями.

Эйнштейн придерживался иной точки зрения. Метод статистики казался ему лишь каким-то переходным этапом. Его обычно применяли в тех случаях, когда информация была явно недостаточной. Как только накопится достаточное количество необходимых данных, как только физики узнают, что является причиной загадочных явлений, происходящих в атоме, необходимость в статистике сразу отпадет. Если Бор считал, что статистические методы могут сыграть значительную роль в окончательном понимании строения атома, Эйнштейн придерживался абсолютно противоположного мнения. Он избрал совершенно иной способ решения вопросов, выдвинутых квантовой теорией. Той же позиции он придерживался и при изучении излучения черного тела и фотоэлектрического эффекта. Так, например, он занимался изучением свойств частиц газа, сравнивая их со свойствами излучения, отыскивая, как это делал и раньше, объяснение двойственности дискретного и непрерывного, корпускулы и волны.

Тем временем Нильс Бор продолжал исследовать с помощью статистических законов неизведанную территорию, одним лишь чутьем подбирая ключи к разгадке тайн микромира, мало-помалу приближаясь к выяснению реального положения вещей. Он уже мог заранее предугадать, какой результат будет получен для каждого конкретного случая; он стал понимать, по какому пути должна развиваться квантовая теория; он начал овладевать новым методом исследования нерешенных проблем; стал ставить правильные вопросы.

В тот период, когда некоторые физики отчаялись хоть когда-нибудь понять атом, Бор в общем был полон оптимизма, считая, как и прежде, что кажущееся вначале полным противоречия в конце концов оказывается составными частями единого гармонического целого. Чем более странными казались новые квантовые идеи, чем больше они отрицали прежние представления человека о природе, тем больше соответствия существовало между ними и классической физикой. Бор был уверен, что если физику, суммирующую прежние представления,— классическую физику — ввести в квантовый мир атома, наука будет двинута вперед. Лишь тогда и только тогда появит-

ся возможность ответить на вопросы, лишь тогда будет наконец понят атом.

Нельзя сказать, что Бор был единственным физиком, который занимался поисками теоретического описания спектров. После успеха, который выпал на долю эксперимента Франка — Герца, расшифровка спектров атома сделалась излюбленной темой физиков-теоретиков. Этим занимались не только в Копенгагене, но и в Лейденском университете, в Нидерландах и в Германии — в Мюнхенском, Геттингенском, Тюбингенском и Берлинском университетах. Сюда на стажировку приезжали студенты-выпускники из многих стран Европы, Великобритании и даже из Азии и Соединенных Штатов Америки. Фактически в те годы в США не было ни одного учебного заведения, где бы проводились атомные исследования, что составляет поразительный контраст с размахом подобных исследований в настоящее время. Во всей стране тогда насчитывалось всего лишь несколько физиков-теоретиков. Роберт Оппенгеймер вспоминал, что в 20-х годах, когда он был еще студентом Гарвардского университета, он не имел никакого представления, что *существует* понятие «физик-теоретик». Он узнал об этом, лишь приехав в Европу.

Многих физиков-теоретиков в молодости притягивала Дания, где великий волшебник Бор искусно «жонглировал своей волшебной палочкой (как он называл свой принцип соответствия), имеющей силу только в Копенгагене». Первым из них был молодой голландец Ганс Крамерс, который, как рассказывают, научился говорить по-датски во время своего путешествия через Нидерланды в Данию. Крамерсу было всего двадцать лет, когда в 1916 году он впервые приехал в Данию на студенческую конференцию. Приехав в чужую страну, он решил повидать коллег, а так как сам собирался стать физиком, то первым делом отправился в Копенгагенский университет на физический факультет. Там он встретился с Нильсом Бором, который незадолго до этого приехал из Манчестера и снова читал лекции в Копенгагенском университете.

Молодые люди с первого взгляда понравились друг другу, и когда в конце своего пребывания в Дании Крамерс оказался в затруднительном материальном положении, он не задумываясь отправился к Бору на этот раз попросить в долг.

Бор мечтал привлечь в Копенгагенский университет больше молодых способных физиков, с которыми он мог бы дискутировать (или совместно работать, что для него по сути было одно и то же), поэтому он спросил у Крамерса, не хочет ли тот стать его ассистентом. Крамерс согласился. В последующие годы Бор пригласил в Копенгаген других молодых физиков (норвежца, шведа и венгра) и убедил руководство университета предоставить им должности. В старом здании средней школы, расположенной рядом с университетом, он нашел несколько пустующих комнат, где мог работать вместе со своими учениками.

Так возник исследовательский центр, который впоследствии получил название «Институт теоретической физики», но больше известен физикам как «Институт Бора». В 1920 году, после того как институт приобрел новое помещение, он получил официальное право на существование. Сейчас институт размещается в нескольких зданиях и число работающих в нем возросло с десяти до ста. Но институт до настоящего времени сохранил характерный для него интернациональный, свободный от всякого формализма дух.

Еще со времени Манчестера Бор надеялся когда-нибудь создать школу, подобную школе Резерфорда. Ему нравилось, как новозеландец обсуждал со своими учениками результаты проведенных экспериментов, как серьезно он относился к их предложениям. В какой-то степени ему импонировал даже вспыльчивый характер Резерфорда. «Он прекрасно умеет владеть собой и, хотя никогда не старается казаться уравновешенным, всегда очень здраво относится к критике как по своему адресу, так и по адресу своих ассистентов».

Бор сам мог иногда вспылить, однако имел гораздо более спокойный характер, чем Резерфорд. Он также был всегда исключительно внимателен к студентам, возможно, даже больше, чем Резерфорд; он верил в плодотворность тесного сотрудничества между теоретиком и экспериментатором, между профессором и студентом. Он очень ценил свободное от всякой предвзятости мнение молодежи, ее критицизм, заставляющий учителя пересматривать известные ему вещи под новым углом зрения.

В истории квантовой физики Бор и его ученики сыграли решающую роль. Хотя Копенгаген не являлся единственным местом, где профессор и студент работали

рука об руку над так называемым кодом спектров, именно в Институте Бора физики познакомились с методом соответствия, с помощью которого был расшифрован этот код. Именно здесь в горячих дискуссиях, организуемых Бором, они научились задавать правильные вопросы, на которые в конце концов получили ответ.

Научные споры, беседы необходимы почти каждому физику-теоретику. В физике, особенно в современной, чаще всего сначала выводят математическое выражение и лишь затем понимают его значение. Физику неоднократно приходится сталкиваться с проблемой, аналогичной той, перед которой был поставлен Макс Планк, когда вывел свою первую формулу для излучения абсолютно черного тела: как истолковать абстрактную логику? Математическая формула может быть выведена им самим или каким-нибудь другим ученым, но проблема остается прежней. И когда физик, наконец, приходит к заключению, что сам не в состоянии познать ее истинный физический смысл, то чаще всего обращается за помощью к другому физику, который, возможно, находится в это время в столь же затруднительном положении, как и он сам. И тогда во взаимных объяснениях (спорах) они пытаются установить, что же означает данное математическое выражение. Часто в ходе дискуссии, в попытках найти логическое доказательство или опровергнуть выдвинутый другим физиком аргумент рождается истина. Роберт Оппенгеймер называл такой вид научной беседы «объяснением друг другу того, что мы сами не понимаем».

Именно потребность в дискуссиях, так же как необходимость быстрейшего обмена информацией, является стимулом, заставляющим физиков-теоретиков встречаться как можно чаще как неофициально, так и на различных конференциях, национальных и международных, небольших и крупных. Ради этого физик-теоретик готов совершить длительное путешествие или заказать разговор по международному телефону. А в 20-е годы нашего столетия нельзя было подобрать более подходящего места для таких встреч, чем Институт Бора, где барьеров между учеником и профессором (с которыми в свое время пришлось столкнуться в Берлинском университете Максу Планку) фактически не существовало и где можно было спорить, невзирая на лица и не считаясь со временем.

В следующей главе мы познакомимся с двумя молодыми людьми, которые работали вместе с Нильсом Бором в тот «мрачный» и «тревожный» период атомной физики, когда на повестку дня одна за другой выдвигались новые теории. Имена этих молодых людей — Вольфганг Паули и Вернер Гейзенберг. Их идеи сыграли решающую роль в теории, которая была разработана физиками после расшифровки спектрального кода и получила название «копенгагенской интерпретации квантовой механики». Несмотря на огромный вклад, сделанный учеными, теория не названа именами Бора, Паули или Гейзенберга, причем единственную причину этого следует искать в частых встречах физиков-теоретиков. Обмен мнениями, дискуссии и критические высказывания, необходимые для их работы, часто делают почти невозможным связать сделанное открытие с именем какого-то одного ученого. Вот почему в следующей главе, прежде чем познакомиться с Гейзенбергом и Паули, мы заглянем в Копенгаген, в Институт Бора, чтобы в полной мере ощутить ту атмосферу, которая царила в группе молодых физиков, работавших в период с 1920 по 1930 год.

Вольфганг Паули, Вернер Гейзенберг и Институт Бора

Счастливая эра физики, которая никогда больше не повторится.

Г. Б. Дж. Казимир

«Таинственный атомный цех» ожидал увидеть молодой студент-физик Фриц Калкар, когда он медленно шел по улице Блегсдамвей, впервые направляясь в Институт Бора. Позже он описал свои первые впечатления, выдержку из которых мы здесь приводим, заранее предупреждая читателя, что их не следует понимать слишком буквально. (Так, например, не собака, естественно, была главой института.)

Сильный, лохматый, с умными грустными маленькими карими глазами, спрятанными под нависшими густыми бровями, дружески настроенный, немного застенчивый, приветливо встречающий всех посетителей,— таков глава института, расположенного в конце улицы Блегсдамвей. Лая и дружески виляя хвостом, он ведет нас в институт... После неоднократных звонков, сопровождаемых оглушительным лаем собаки, дверь неожиданно открывается и сомнительного вида человек сердито спрашивает, не счет ли мы принесли, добавляя: «Зайдите в другой раз». Мы заверяем сердитого стража в том, что мы пришли с добрыми намерениями, и он наконец позволяет нам войти. Своим появлением мы вспугиваем нескольких школяров, которые втихомолку просматривают дневную почту и, сгорая от любопытства, читают открытки, адресованные отсутствующим здесь лицам, а если бумага конвертов достаточно тонкая, то и содержание писем.

Далее автор подробно описывает «потрясение», которое он испытал, когда, услышав доносящиеся из соседней комнаты таинственные резкие звуки, он с бьющимся сердцем осторожно приблизился к двери, чтобы своими собственными глазами увидеть, как Нильс Бор работает над атомом. И что же он обнаружил? В комнате проводился «опыт по бомбардировке», сопровождаемый непрерывным «свистом» и «хлопками». Эксперимент ставил не

сам Бор, а два его студента. Один из них объяснил нам, что объектом исследования является шарик от пинг-понга, ибо удары ракеткой по шарику, а не атомный эксперимент служили источником услышанных звуков.

Как можно судить из приведенного нами отрывка, каждый, кто желал познакомиться ближе с постановкой дела в Институте Бора, неизбежно сталкивался с определенными трудностями. За исключением записей на грифельных досках, почти нельзя было обнаружить какие-нибудь другие признаки работы. Эксперименты почти не проводились; бóльшая часть сотрудников института занимались главным образом теоретическими исследованиями, а официальных занятий в то время не было.

Трехэтажное оштукатуренное здание института с красной черепичной крышей внешне очень напоминало школу. Нильс Бор, который женился в 1912 году и в последующие годы сделался главой большого семейства (отцом пятерых сыновей), некоторое время жил в институте, занимая квартиру на самом верхнем этаже. В институте был буфет, библиотека и комнаты, в которых жили и проводили дискуссии студенты. Сыновья Бора, которые часто появлялись в институте и исчезали оттуда через окно с черного хода, придавали царившей здесь атмосфере еще более неофициальный дух.

С первого взгляда было довольно трудно отличить друг от друга светлоголовых мальчуганов. «Сыновья Бора,— рассказывал физик Леон Розенфельд,— всегда являлись для меня серьезной загадкой». Во время первой встречи отеческий вид Бора произвел на Розенфельда сильное впечатление, он этим отнюдь не был удивлен, так как Бор был окружен сыновьями. На следующий день, когда Розенфельд встретил Бора, вокруг него снова было несколько сыновей. «Кажется, уже другие»,— подумал Розенфельд и был окончательно сбит с толку, когда в тот же день после полудня Бор появился опять, но уже с совсем другим мальчиком. «Казалось, — рассказывал Розенфельд,— он достает их из-под земли или извлекает из рукава, как фокусник».

Госпожа Бор, высокая, красивая женщина, также вносила в институт атмосферу домашнего уюта; она любила угощать бутербродами студентов, постоянно заходивших к ним. Они вели нескончаемые разговоры не только о физике, но и о политике, философии, музыке и книгах, кинофильмах и девушках.

Кроме пинг-понга, в который, кстати играли так усердно, что на полу, в местах, где обычно стояли игроки, были вытоптаны два углубления, любимым времяпрепровождением для всех являлось посещение кинотеатров. Нильс Бор, которому нравилась некая белокурая актриса и все без исключения ковбойские фильмы, часто принимал участие в этих походах. Один из подобных фильмов вдохновил его на создание так называемой «малоизвестной теории Бора» и на ее «экспериментальную проверку».

Как-то раз Бор вместе с несколькими физиками смотрели ковбойский фильм, после чего, возможно, за кружкой пива с бутербродами у них разгорелся спор. «Почему, — спросил один физик, — в этих фильмах герой всегда быстрее выхватывает пистолет, чем злодей? Ведь, в конце концов, герой не ожидает нападения, в то время как злодей уже заранее продумал план своих действий. Он должен был бы пошевеливаться куда быстрее».

Бор, который всегда был оптимистом по натуре, не согласился с ним. Бор считал, что поскольку герой не замышлял убийства и, следовательно, не чувствовал за собой никакой вины, его реакция должна быть гораздо быстрее, чем у злодея.

По мере того как спор разгорелся, они от частного перешли к общему, как обычно бывает в дискуссиях между физиками-теоретиками, и вскоре все принялись обсуждать, что произошло бы в стране, где разрешалось бы свободное и неограниченное пользование оружием. В такой ситуации, утверждал Бор, невиновный непременно должен был бы уцелеть.

Доводы Бора не убедили его коллегу. На следующий день, желая окончательно решить спор, он вооружился сам и вручил Бору и другим физикам по игрушечному пистолету, а затем вместе со своими единомышленниками неожиданно напал на Бора из засады. Однако Бор выбил из их рук пистолеты. Победа досталась невиновному.

Кино способствовало и серьезным размышлениям. Когда Розенфельд впервые отправился вместе с сотрудниками института в кино, он был весьма удивлен, заметив, как Казимир (один из сотрудников института), пока не погас свет и не начался фильм, вытащил блокнот и стал производить, по всей видимости, какие-то сложные расчеты. «Бедняга Казимир, — вспоминал Розенфельд, — должен был ждать, пока влюбленные преодолеют очеред-

ное препятствие на пути к соединению и т. д. и т. п., а потом снова принимался за расчеты. Однако он не терял даром ни секунды: каждый раз, когда вспыхивал свет, было видно, как наш друг, склонившись над клочком бумаги, лихорадочно покрывал его сложнейшими формулами. В отчаянной ситуации он делал все от него зависящее, и это зрелище было поистине восхитительно».

И все-таки самой лучшей порой для размышлений оставалась ночь. Поиграв в пинг-понг, посмотрев фильм, студент отправлялся в кафе перекусить и, наконец, оставшись один в комнате, начинал напряженно работать, часто до наступления рассвета. На следующее утро он, как правило, просыпался очень поздно, иногда пропуская даже такое значительное событие, как приход почтальона.

Тот, кто вставал вовремя, с нетерпением ожидал утренней почты: с ней поступала не только личная корреспонденция, но и научные новости. Журналы, в которых сообщалось о недавно проведенных экспериментах и новых теоретических гипотезах, расхватывались еще до их поступления в библиотеку, а если в них содержалось нечто важное, весть об этом быстро разносилась по всему институту. Опоздавший, спускаясь по лестнице на первый этаж, обычно узнавал, что что-то произошло, по толпе, собравшейся в холле, и по доносившимся до него громким голосам, ибо каждый старался объяснить остальным, чего он сам не понял.

Спустя некоторое время толпа распадалась на отдельные группы, по два-три человека, которые носились в поисках грифельной доски. Пока один из них, завладев доской, излагал свой ход математических доказательств, остальные располагались вокруг с максимально возможным комфортом, усевшись верхом на стульях, примостившись рядом, устроившись на коленях у товарища или на столе, упершись ногами в стену. Так, высказываясь поочередно, они вникали в смысл самых последних новостей в математике. Если же в тот день почта не приносила ничего интересного, то все равно разгоралась дискуссия, и ее инициатором, как правило, оказывался тот, кто, просидев за расчетами до глубокой ночи, признавался наутро товарищам, что в чем-то не разобрался. Научные споры обычно продолжались до ленча, а то и дольше. В Дании существует обычай питаться пять раз в день. «Стоит лишь прийти в голову хорошей идее, —

жаловался один из студентов,— как тебе приходится садиться за стол».

Во время еды научные споры обычно прекращались, и беседа велась на посторонние, не имеющие никакого отношения к науке темы, например о копенгагенских девушках. Отмечалось, что копенгагенки обладают «своеобразным и удивительным очарованием». Они повсюду разъезжают на велосипедах, и в этом, согласно «физическому закону», открытому в институте, заключался секрет, почему так много студентов-физиков женилось на датчанках. «Когда девушка едет на велосипеде,— гласил закон,— за одну секунду можно увидеть гораздо больше». Была разработана целая классификационная система, по которой можно было установить степень привлекательности девушек (хотя обычно дело не обходилось без споров):

1. Невозможно ни на секунду отвести глаз.
2. Можно, но с трудом.
3. Безразлично, смотришь или нет.
4. Смотришь без всякого удовольствия.
5. Невозможно даже заставить себя смотреть.

(Такая классификация распространялась и на кинофильмы, и если, проконсультировавшись во время сеанса, физики приходили к мнению, что фильм следует отнести к пятой категории, то сразу же покидали зал.)

Некоторые признаки начала официальных занятий появлялись лишь после ленча. Обычно Бор приглашал какого-нибудь студента к себе в кабинет и просил рассказать, над чем тот работает. Воодушевленный вопросами, которые задавал ему Бор, студент начинал излагать свои идеи, иногда с удивлением при этом обнаруживая, что они ошибочны. Сам Бор не имел привычки кого-либо критиковать.

Во второй половине дня иногда проводился семинар. Когда к Бору издалека приезжал какой-нибудь физик, гостя частенько просили поделиться своими идеями со студентами института. Докладчика прерывали только в том случае, если кому-нибудь в аудитории было не все понятно. Никто не испытывал чувства застенчивости. Как вспоминал один из бывших студентов: «Мы хорошо знали друг друга и не стеснялись сказать: «Я не понимаю» или «Вы неправы».

Молодые люди, учившиеся у Нильса Бора в 20-е и 30-е годы, стали профессорами физики, директорами на-

учно-исследовательских институтов в Европе и Соединенных Штатах Америки. Многие из них работают научными консультантами в правительственных органах и военных учреждениях различных стран. Они любят вспоминать о старом добром времени, проведенном в Копенгагене. Иногда улыбаются, вспоминая свою юность. «Среди нас,— рассказывал один из них,— был человек, который сделал поистине величайшее открытие, подобное открытию Исаака Ньютона. Словом, открытие, полностью изменившее наше представление о природе. Ну, и как же юноша воспринял свой серьезный и крупный успех? — спросите вы. Очень просто! Он напомнил мне алчного филателиста, которому в руки попала редчайшая марка для его коллекции!»

Другой физик вспоминал, что в те дни молодым ученым из Института Бора было присуще известное чувство высокомерия, сознания своей исключительности: ведь они причастны к великим событиям, происходящим в физике! «Мы считали себя «избранным меньшинством», — рассказывал он.— Мы были «в курсе событий» и, подобно другим высокомерным людям, никого не желали допускать в наш узкий круг. Существовало мнение, что студенты из некоторых стран никогда не смогут стать хорошими физиками, и кое-кто из нас даже старался помешать поступлению в институт студентов — кандидатов из этих стран. Самозванные администраторы полагали, что руководят институтом, и в некотором отношении так оно и было, ибо в те дни никто серьезно не занимался административными вопросами. Сам же Бор уделял им мало внимания».

Физики, чьи высказывания мы здесь привели, глубоко сожалеют, что времена эти прошли безвозвратно, хотя, по их же собственному признанию, тогда они были немного глупы и постоянно нуждались в деньгах. Ни у кого из них в ту пору не было своего автомобиля, немногие могли себе позволить поехать в поезде в первом классе. (Субсидия из Рокфеллеровского фонда, которая в Соединенных Штатах Америки расценивалась просто как материальная помощь, по европейским понятиям являлась целым состоянием. Студент, получавший такую субсидию, на некоторое время оказывался богаче своих профессоров.)

Более того, они даже и не надеялись хоть когда-нибудь разбогатеть. В лучшем случае они могли рассчиты-

вать на должность профессора, а таких мест было немного, так как в те дни на физическом факультете имелись всего две или три штатные единицы для научных сотрудников. И конкурс на эту скромную и отнюдь не доходную должность был очень большим.

Почему же, спрашивается, ученые с таким удовольствием вспоминают давно прошедшие дни? Сейчас все они вполне обеспеченные люди, пользующиеся большим влиянием. В 20-х годах никто, кроме физиков, не интересовался их работой. А в наш атомный век к их мнению прислушиваются президенты, премьер-министры и генералы; их высказывания печатают в газетах.

Ученые отвечают, что сейчас они далеко не так свободны, как в старые добрые времена. Когда они были молоды, деньги не играли в их жизни важной роли. Ни у кого из них не было в достаточном количестве денег, а для таких нужд первой необходимости, как поездка в вагоне третьего класса в различные университеты для встречи с другими физиками, необходимую сумму можно было накопить, сэкономив на еде. Поношенная же одежда была отличительным признаком физиков, независимо от занимаемого ими положения, и они носили ее даже с некоторым чувством гордости.

Физика тех дней, говорят, можно было сравнить с борющимся за признание художником, который бесконечно влюблен в свою работу, пока никем не признанную и плохо оплачиваемую. Никто не навязывал физику тему для исследования насильно: он сам выбирал ту, которую находил интересной. Он не только был свободен в выборе темы: он мог свободно говорить о ней. Ему никогда не приходилось внезапно останавливаться на полуслове, поймав себя на том, что собирался рассказать о чем-то «засекреченном».

В те далекие времена, когда еще не было расщеплено атомное ядро, то, над чем работал физик, касалось только его одного. Его исследование не имело никакого отношения к военной стратегии, вооружению и методам ведения войны. В те дни физик мог совершенно спокойно доводить ход своих мыслей до логического конца. Куда они приведут, не имело ровным счетом никакого значения.

В это содружество беззаботных физиков входили два молодых ученых, которые, еще не достигнув двадцатипятилетнего возраста, внесли выдающийся вклад в новую

науку об атоме. Оба они родились на рубеже двух столетий, когда появилась на свет квантовая теория Планка, и в 20-е годы им было по двадцать с небольшим. Нильс Бор встретил обоих юношей — Вольфганга Паули и Вернера Гейзенберга — во время поездки в Германию, куда он приехал прочитать курс лекций. «Их необычайный талант», рассказывал Бор, произвел на него большое впечатление, и он уговорил их приехать к нему в Копенгаген. Может, именно им удастся исправить недостатки его атомной теории.

Спустя некоторое время Гейзенберг и Паули приехали в Копенгаген, где стали работать вместе с Бором. В это сотрудничество каждый из них внес то, что было присуще его индивидуальному дарованию.

Приехавший из Вены Вольфганг Паули был молодым, несколько склонным к полноте человеком. Губы у него были толстые, лицо широкое, глаза немного косили. Внешне он очень напоминал Будду, но Будду, в глазах которого светился ум. В научных спорах Паули был бесподобен. Для него никакого значения не имело правильное решение проблемы, если доказательство не получалось лаконичным, полным и логически безупречным. Его научные труды, немногочисленные и разделенные друг от друга большими промежутками времени, являлись продуктом энергичного и длительного процесса мышления, во время которого доказательство оттачивалось снова и снова, пока не начинало удовлетворять его придирчивым требованиям. Лишь в исключительно редких случаях работа Паули оказывалась ошибочной; казалось, предъявляемые им строгие требования к логике всегда указывают ему правильный путь. Физики постоянно восхищались «изяществом» стиля его статей и очень часто старались узнать мнение Паули об их работе.

В роли критика Паули в какой-то степени напоминал многоречивого Майкрофта Холмса, который, очень редко покидая свое удобное кресло, разрешал проблемы для своего более подвижного брата Шерлока. Хотя многие физики извлекали немалую пользу из критических замечаний Паули, далеко не все спокойно их воспринимали.

Он предлагал другим то, о чем мечтал сам. «Ваши обязанности не будут тяжелыми,— заявил однажды Паули физику, который поступал к нему на должность ассистента. — Работа будет заключаться в том, что, как




Слева: 1929 год. После первой стычки Паули и Эренфест сделались друзьями. Вот они оба (Паули слева) едут на пароме в Копенгаген. Сейчас Паули расскажет очередной анекдот. Справа: анекдот рассказан.

только я что-нибудь скажу, вы должны опровергнуть меня самыми вескими аргументами *». Полагая, что все, кто ищет его совета, мыслят аналогичным образом, Паули просматривал рукописи дотошно и придирчиво. Он подвергал сомнению абсолютно *все*. Он был безжалостен, бесчувствен, язвителен, но очень часто — полезен. Бор и Гейзенберг очень ценили критические замечания Паули, хотя они часто бывали весьма болезненными для самолюбия. Их восхищала неистовая честность ученого. Бор сравнивал Паули со скалой в разбушевавшемся море. Всегда можно было рассчитывать, что Паули скажет именно то, что думает.

И не только то, что думает о вашей работе. Однажды Паули сравнил чувства людей, их наиболее уязвимые места, с мозолями. В конечном счете, сказал он, самый лучший способ наладить с человеком хорошие отношения — это как можно чаще наступать ему на мозоли, пока он не привыкнет. Именно так он всегда и поступал: умышленно затрагивал болезненные места, часто причиняя боль своему новому знакомому. Однако с каждым разом боль становилась все меньше, чему также способствовало сознание того, что Паули так поступает с каж-

* В обязанность ассистента вменялось сопровождать дородного физика в его постоянных послеполуденных походах в кафе-мороженое. Здесь, как и в плавательном бассейне, который Паули тоже любил посещать, ассистент опять-таки должен был по обязанности опровергать высказывания шефа с помощью самых веских аргументов.

дым, невзирая на лица, что он поступает так из принципа. Вам легче было бы перенести заявление Паули, что вы абсолютно неправы, чем услышать такой разговор с Бором: «Замолчите! Не стройте из себя дурака!» «Но, Паули, послушайте...»,— отвечал Бор, пытаясь доказать свою точку зрения. «Нет. Это чушь. Не буду больше слушать ни слова».

Математические способности обычно проявляются рано, и Паули не был исключением. Учителя обнаружили у Паули выдающиеся математические способности, когда ему еще не было одиннадцати лет, и предоставили ему право заниматься по собственной программе. Паули очень любил школу. Дома он часто беседовал о математике со своим отцом, профессором биологии, однако вскоре знания отца уже перестали его удовлетворять. Вообще же, говорят, Паули был более близок со своей матерью, которая всецело разделяла его любовь к музыке. Сама она по профессии была журналисткой и, когда Паули был еще ребенком, работала в газете, а дома в свободное время изучала латынь и греческий. Когда Вольфганг был уже школьником, родилась сестренка Герта, а так как он привык быть единственным ребенком в семье, то воспринял ее появление отнюдь не как счастливое событие. Однако когда Герта подросла и с ней можно было говорить о разных вещах, мнение брата о ней повысилось, и Паули очень привязался к своей рыжеволосой сестренке, которая любила постоянно его поддразнивать.

Паули жили в предместье Вены, в маленьком особняке, со всех сторон окруженном зарослями орешника. Дети собирали вдвоем орехи, купались в Дунае, обследовали окрестные леса. Иногда брат читал Герте романы Жюля Верна из своей большой библиотеки. Он не преминул ей сказать, когда однажды в одном из них — «Из пушки на Луну» обнаружил серьезную ошибку. Пассажиры космического корабля, писал Жюль Верн, будут испытывать чувство невесомости только тогда, когда достигнут точки в космическом пространстве, где притяжение Луны будет в точности равно земному притяжению. «Неправильно,— сказал Паули.— Они начнут испытывать чувство невесомости, как только двигатель корабля перестанет работать и они выйдут за пределы земной атмосферы».

Однажды, в канун Нового года, когда уже начало смеркаться, брата и сестру отправили погулять на вре-

мя, пока взрослые украшали рождественскую елку и готовили сюрпризы. Хотя было всего около пяти часов вечера, на небе уже появились звезды. Юный Паули, прекрасно разбиравшийся в астрономии, принялся рассказывать сестре о звездах. Его увлечение астрономией объяснялось не одним только чисто научным интересом: к звездам он питал те же чувства, какие были у философов и мистиков древних времен.

Герте в то время было восемь или девять лет, и она была еще слишком мала, чтобы хоть что-нибудь понимать в астрономии. Когда брат объяснил ей, что так называемые неподвижные звезды никак не закреплены на небесном своде, она, как ей казалось, вполне логично заметила: «Оттого они и падают».

Паули рассердился. Он попытался поправить ее, но Герта не желала ничего слушать:

— Они падают, — кричала она во весь голос.

— Они *падают*! Они *падают*! Они *падают*!

Спор, естественно, закончился дракой.

Когда Герта выросла, она стала писательницей. В юности в течение нескольких лет она играла на сцене в Германии, что очень нравилось Паули, так как тот любил театр, и в разговорах с друзьями хвастался своей сестренкой. Он любил заходить к ней после спектакля, пользуясь случаем встретиться и с другими актрисами. (Паули любил по ночам бодрствовать; ходили слухи, что одна из самых лучших идей осенила его в тот момент, когда он смотрел музыкальную комедию.)

Известность пришла к Паули, когда он был еще очень молод. В Мюнхенском университете, который он окончил на год раньше своих сверстников, Паули учился под руководством выдающегося физика-теоретика Арнольда Зоммерфельда (как видите, Мюнхенский университет очень переменился с тех пор, когда Планк был там студентом). Паули было девятнадцать лет, когда университет посетил знаменитый Альберт Эйнштейн, приехавший сюда прочитать лекцию по теории относительности. Едва Эйнштейн закончил говорить, как Паули, присутствующий в аудитории, попросил слово. «Знаете ли,— начал юноша,— то, что рассказывал нам господин Эйнштейн, вовсе не так уж глупо...»

В то время Паули был уже достаточно подготовлен, чтобы иметь смелость критиковать Эйнштейна. Он написал для научной энциклопедии реферат по теории отно-

сительности, в котором так сжато, с такой глубиной и логической красотой изложил ее, что Эйнштейн, прочитав реферат, сказал, что он сам сейчас лучше понял свою теорию.

Благодаря реферату имя Паули стало известно и другим физикам; кроме того, разнесся слух, что у молодого человека помимо блестящих способностей к тому же и злой язык.

— Я ничего не имею против того, что вы медленно соображаете,— заявил он одному физику,— но я не выношу, когда вы печатаете свои статьи быстрее, чем их обдумываете.

Когда на одной конференции его представили профессору Эренфесту из Лейденского университета, очень известному физику, чьими научными статьями восхищались друзья Паули и который сам восхищался рефератом Паули по теории относительности, Паули повел себя по меньшей мере неучтиво. На что Эренфест заявил ему весьма откровенно: «Ваши печатные труды мне нравятся намного больше, чем вы сами». Ответная реплика Паули была уничтожающей: «Странно! А мне как раз наоборот».

Этот «ужасный* молодой человек», как его иногда называли, приехал в Копенгаген, когда ему было двадцать три года. О его характере там узнали еще до его появления, так как отец Паули в разговоре с одним из сотрудников института выразил надежду, что его сын в Копенгагене не только получит от Бора знания по физике, но и научится у него хорошим манерам.

Когда Паули прибыл в Копенгаген, настроение у него было подавленное и озабоченное. Он пытался разобраться в так называемом аномальном эффекте Зеемана, связанном с изменениями, которые происходят в линейчатых спектрах в присутствии магнитного поля. Теория Бора, даже с внесенными в нее дополнениями, не могла объяснить, почему, когда какой-либо химический элемент помещали между полюсами магнита, отдельные линии его спектра расщеплялись на шесть и более линий. Поскольку этот эффект противоречил теории, его назвали «аномальным» (Зееман — фамилия физика, впервые наблюдавшего эффект расщепления, который не соответст-

---

* «Ужасный» в том смысле, что он вселял ужас.

вовал теоретическим выводам). Вот над чем размышлял Паули. Когда госпожа Бор однажды по-матерински заботливо спросила его, почему он выглядит таким удрученным, Паули пылко воскликнул: «Разумеется, я несчастлив! Ведь я не могу разобраться в аномальном эффекте Зеемана!»

Он считал, что решение этой проблемы, вероятно, поможет ему в решении другой, поможет заполнить серьезный логический пробел в оболочечной структуре атома, разработанной Бором в попытках объяснить периодическую таблицу химических элементов. Системе Бора, как мы уже говорили, не хватало теоретической основы. Путем произвольного деления электронов на группы (два электрона на первой оболочке, восемь на следующей и т. д.) можно было объяснить химические свойства элементов, но чем обусловлено такое деление? Что заставляло электроны группироваться именно таким образом?

Бор вскользь упомянул об аномальном эффекте на одной из лекций, курс которых он читал в Германии; на Паули, присутствовавшего на лекции, произвели, как он вспоминал позднее, сильное впечатление «попытки Бора найти общее правило для подтверждения оболочечного строения атома». И вот, работая в Копенгагене, Паули нашел это правило, получившее название «принцип запрета».

В основу работы Паули легли результаты наблюдения спектров различных атомов. Как уже упоминалось выше, спектроскопистами были составлены целые каталоги наблюдаемых спектров. В этом огромном экспериментальном материале Паули обнаружил простой принцип систематики, справедливый во всех случаях. Он заключается в следующем: в любой системе элементарных частиц, таких, например, как набор электронов в атоме, не могут находиться две частицы, движущиеся аналогичным образом (занимающие один и тот же энергетический уровень).

Принцип запрета Паули имел универсальное значение, к тому же был очень прост, поэтому в последующие годы он нашел применение в таких областях физики, о которых никто вначале и не мог подумать. Например, принципу Паули подчиняется поведение ядерных частиц, которые в то время еще не были открыты. Эта работа Паули явилась важнейшей составной частью квантовой механики, созданной впоследствии; она стала основой

основ атомной физики, в то время как концепция Бора относительно характера движения электрона в атоме в дальнейшем была отброшена. Тем не менее многое из работ Бора и других физиков, в основу которых были положены концепция Бора и его принцип соответствия, оказалось правильным. Концепция Бора не была отброшена в прямом смысле этого слова, просто ее стали понимать несколько иначе. Она была справедлива для разработанных Бором оболочечных структур различных химических элементов. Паули обнаружил, почему Бор приписал определенное число электронов различным оболочкам, ибо принцип запрета в применении к концепции Бора о строении атома накладывает ограничения на поведение электрона точно таким же образом, как это произвольно делал Бор, объясняя заполнение электронных уровней.

Применив принцип запрета, Паули смог на основе оболочечного строения атома вывести все химические свойства элементов. Вместе с данными спектроскопических наблюдений — включая аномальный эффект Зеемана — это явилось очевидным доказательством справедливости принципа запрета. В чем же его значение? Ведь принцип запрета не объяснял, почему в данной физической системе не могут находиться два электрона в одном и том же индивидуальном состоянии. Как и в атомной теории Бора, в принципе запрета как бы предполагалось, что электрон обладает необыкновенными свойствами. Принцип запрета, который был выражен в изящной математической форме, нашел применение лишь значительно позже, когда с помощью новой квантовой механики был до конца расшифрован код атомных спектров. А до того времени физики называли принцип, сформулированный Паули, «непонятным, но красивым».

Когда Паули занимался принципом запрета, вместе с ним в комнате работал один из немногих физиков-экспериментаторов института Дьердь Хевеши — создатель радиоиндикаторного метода, широко применяемого в настоящее время в биологических исследованиях. В то время Хевеши пытался идентифицировать новый элемент, существование которого было предсказано на основе оболочечной системы Бора. Его уже назвали «гафнием», что по-латыни означает «Копенгаген», однако получить убедительное доказательство его существования было очень сложной задачей, ибо спектр гафния был удиви-

тельно похож на спектр другого элемента. Много недель, склонившись над прибором, Хевеши бился над этой проблемой и наконец был уже близок к цели, когда в одной с ним комнате расположился Паули. К несчастью для Хевеши, у толстяка-физика из Вены была одна неприятная привычка. Стоило ему погрузиться в размышления, как он начинал раскачиваться взад и вперед на стуле, и чем глубже он уходил в мысли, тем сильнее раскачивался. Доски пола буквально ходили ходуном, приборы на столе дрожали, что, естественно, мешало Хевеши снимать с них точные показания. Однажды Хевеши не выдержал и попросил Паули перестать раскачиваться.

А Паули даже и не подозревал, что раскачивался. Погрузившись в расчеты, он едва ли сознавал, что в комнате присутствует еще кто-либо. Только сейчас до него дошло, что рядом с ним находится другой физик, который также над чем-то работает. Паули с трудом мог представить себе, что на свете есть физики, которые занимаются только тем, что ставят опыты. У него самого полностью отсутствовали качества, необходимые для экспериментальной работы, и он не понимал, какое удовольствие люди получают от такого рода науки. Теперь, когда ход его мыслей был прерван, он поднял голову и спросил у Хевеши, над чем тот работает.

— Гафний,— последовал ответ, и Паули вновь вернулся к своим расчетам.

Спустя несколько дней Хевеши снова был вынужден просить Паули перестать раскачиваться, чтобы можно было снять показания с приборов. Паули, которому Хевеши еще раз напомнил о своем существовании (а за это время Хевеши, несмотря на неблагоприятную обстановку, при помощи Д. Костера все же преуспел в идентификации нового элемента), снова спросил у своего соседа, над чем он работает *сейчас*.

— Гафний,— процедил сквозь зубы Хевеши.

— С трудом могу поверить этому,— заметил Паули, пораженный, что сосед так долго занимается столь незначительным, на его взгляд, делом.

Дни, проведенные в обществе Хевеши, были одним из немногих периодов в жизни Паули, когда он заходил в лабораторию. Его полное безразличие к экспериментальной науке получило такую же широкую известность, как и его удивительная неловкость. К самому простейшему механизму Паули приближался с подозрением, гранича-

щим с чувством глубокого отвращения; рассказывают, что для получения водительских прав ему пришлось взять не менее сотни уроков.

Подытожив различные стороны деятельности Паули и его личные качества — его выдающиеся способности критика, сокрушительную силу его критицизма, непостижимые силы, скрытые в его принципе запрета, а также его удивительную неловкость,— физики назвали всю совокупность этих данных «эффектом Паули». Говорили, что стоило только появиться ему где-нибудь поблизости, как, якобы под действием «эффекта Паули», лабораторные приборы разбивались или разваливались на части. Однажды в Геттингенском университете по неизвестной причине произошел взрыв, во время которого было повреждено оборудование вакуумной установки. Вскоре причина всем стала понятна. Ведь как раз во время взрыва поезд, в котором находился Паули, прибыл на Геттингенский вокзал.

«Эффект Паули», превратившийся в анекдот современной физики, следует рассматривать как комплимент в адрес человека, именем которого он был назван. Теоретики часто бывают удивительно неловкими в лаборатории, так что приписывание Паули огромной разрушительной силы было, по-видимому, своего рода желанием сказать, что как *физик-теоретик* он великолепен. Во всяком случае самого Паули такое мнение забавляло. Так, однажды на конференции, проходившей в Италии, несколько молодых физиков решили подшутить над ним и продемонстрировать «эффект Паули». Они соорудили хитроумное приспособление, присоединив его к люстре, которая должна была эффектно обрушиться вниз, едва Паули откроет дверь. Но «эксперимент» не удался из-за веревки, неудачно надетой на один из блоков, поэтому, когда Паули открыл дверь, ничего не произошло. Заметив замысловатую конструкцию, которая подвела ее изобретателей, Паули весело сказал, что им самим удалось продемонстрировать типичный «эффект Паули».

Проведя в Копенгагене год, Паули уехал преподавать в Гамбургский университет. Гамбург находится в Северной Германии, недалеко от Копенгагена. Чтобы туда попасть, надо было немного проехать поездом до побережья, а затем пароходом по Балтийскому морю. В 20-е годы Паули часто путешествовал по этому маршруту. Он был постоянным гостем в Копенгагене, в ре-

зультате многие научные работы сотрудников Института Бора носили следы его критических замечаний и предложений, за которые он официально никогда не получал благодарности. Паули одним из первых понял недостатки прежних атомных моделей и всячески настаивал на том, чтобы отказаться от них, так как иначе невозможно будет понять, как устроен атом.

Одним из тех, кто получил многое от общения с Паули, был Вернер Гейзенберг — еще один молодой физик, с которым Бор повстречался в Германии и которого тоже пригласил на работу к себе в институт. Гейзенберг был красивым, белокурым, атлетически сложенным юношей. Как и Бор, он был отличным спортсменом (его часто можно было видеть одетым в кожаные альпинистские шорты). Однако в стенах института энергия Гейзенберга была направлена главным образом на физику. Работал он очень напряженно, лишь изредка появляясь в кино или у стола для игры в пинг-понг.

Коллеги Гейзенберга отмечали, что у него было необыкновенно развито чувство интуиции. Как сказал об этом сам Гейзенберг: «...Я должен начинать не с детального изучения вопроса, а сначала прислушаться ... к подсознательному чувству, которое, как правило, подсказывает мне правильный путь». Он мог мгновенно найти верное решение, чего не в состоянии были сделать другие физики, несмотря на то, что занимались этим вопросом больше и гораздо лучше знали математику. В отличие от Паули Гейзенберг не тратил много сил и времени на то, чтобы как следует сформулировать аргументы, которые приводили его к правильному ответу. В отличие от Бора он не кружил вокруг да около проблемы, осмысливая ее со всех сторон. Гейзенберг обычно старался как можно скорее опубликовать свои открытия, предоставляя другим право беспокоиться об аргументах. Его математические доказательства, как отмечали физики, были «грубыми» (Паули употреблял более сильные выражения); иногда Гейзенберг выступал с правильным решением, но абсолютно неправильно аргументированным. Паули и Бор неоднократно убеждали его, что следует более глубоко осмысливать идеи, которые так легко приходили ему в голову. Одна из них, как мы позже увидим, позволила Гейзенбергу расшифровать код линейчатых спектров атомов. Он совершил этот научный подвиг, располагая данными, которые имели лишь кос-

венное отношение к рассматриваемой проблеме. Гейзенберг никогда не строил предположений, в основе которых лежали бы атомные модели; он вообще их не использовал. Как это ни странно, он почувствовал недоверие к атомным моделям еще задолго до того, как впервые услышал о модели атома по Нильсу Бору. Однажды, впервые перелистывая попавший к нему в руки учебник физики, он наткнулся на диаграмму, изображавшую атомы, и пришел к мысли, что она не может быть правильной.



Вернер Гейзенберг в возрасте двадцати четырех лет, вскоре после того, как он расшифровал код линейных спектров.

В то время он учился в той самой Максимиллианской гимназии в Мюнхене, которую сорок лет назад посещал Макс Планк. Гейзенберг, как и Планк, любил латинский и греческий языки и так же, как и Планк, в стенах гимназии впервые узнал то, что впоследствии называл «настоящей наукой» и что произвело на него сильное впечатление. Он потерял всякий интерес к «Конструктору» — игре, которой раньше очень увлекался. Однажды на уроке геометрии, которую Гейзенберг считал «весьма скучным предметом», учитель стал излагать аксиомы. И тут вдруг Гейзенберг неожиданно понял (то же самое произошло и с Эйнштейном, когда он был приблизительно в том же возрасте), что в геометрии есть нечто «в высшей степени удивительное и волнующее». Ее формальная логика не была отвлеченной, она прекрасно соответствовала структуре окружающего нас мира.

Пораженный этой мыслью, Гейзенберг принялся играть в новую игру. Он пытался выразить языком математики, которую он довольно хорошо знал, окружающий его мир. Игра настолько его захватила, что он стал читать книги по математике, желая как можно лучше овладеть ею. Он усвоил методы дифференциального и интегрального исчислений, что позволило ему сформулировать законы, управлявшие движением машин из его «Конструктора».

Так, играя, он учил физику, однако в этой игре его интересовала только математическая сторона дела, а не

сами машины и прочие механизмы. В отношении Гейзенберга к физике произошел коренной перелом после того, как в учебнике он увидел ту самую диаграмму, на которой художник пытался схематично изобразить строение молекул газа. Несколько атомов соединялись друг с другом с помощью крючков и петель, долженствующих изображать химические связи. «Какая чепуха!» — вырвалось у Гейзенберга, когда он увидел крючки и петли. Самое интересное, что в той же книге говорилось, что атом, как называли и определяли его древнегреческие философы, является чрезвычайно малой неделимой частицей материи. Отсюда, подумал Гейзенберг, логично напрашивался вывод, что атом должен быть простым. Он не может обладать сложными свойствами, так как само определение атома исключает эту возможность. Гейзенберг полагал, что хитроумное сооружение из крючков и петель не имеет никаких прав претендовать на название «атом». Он был просто возмущен, что такой рисунок помещен в серьезной научной книге.

Как позже убедился Гейзенберг, интуиция его не обманула. Атом, по мнению Демокрита, жившего почти за 500 лет до н. э., не обладал такими физическими свойствами, как цвет, запах, вкус. Существовало нечто иное, совершенно абстрактное, что объясняло эти свойства. Ученые, пришедшие на смену Демокриту, также использовали понятие «атом» для обозначения элементарной или конечной частицы. Но потом оказалось, что так называемый атом состоит из других частиц, а поэтому не является минимальной неделимой единицей материи. Электрон, протон и нейтрон гораздо больше отвечают понятию атома по Демокриту. Исторически так сложилось, что слово «атом» было применено неправильно.

Один из товарищей Гейзенберга, с которым он вместе часто путешествовал и который интересовался трудами древнегреческих философов, узнал, что некоторые из них представляли атом в еще более абстрактной форме, чем Демокрит,— в математической, нематериальной форме. Этот юноша не только полностью разделял мнение Гейзенберга относительно нелепости подобных иллюстраций, но пошел даже дальше. «Вся современная физика ошибочна»,— заявил он, увидев в книге схемы, поясняющие строение атома по Бору, где атом был изображен в виде сложной системы. Нельзя ожидать ничего хорошего

от науки, которая пытается наглядно представить строение атома в какой бы то ни было форме. Гейзенберг не стоял на таких крайних позициях. Атомные модели неправильны, с этим он согласен, однако, быть может, в теории Бора все же имеется какое-то рациональное зерно? В нем проснулся интерес, ему захотелось узнать, «как обстоят дела в атомной физике».

В то время Гейзенбергу было семнадцать лет, и он учился в выпускном классе гимназии. 1919 год был для него чреват событиями. Германия проиграла войну; в Мюнхене рабочие и часть демобилизовавшихся солдат силой захватили власть. Гейзенберг вместе с несколькими товарищами из гимназии вступил добровольцем в отряд, сражавшийся против революционеров.

Для него то было время, полное приключений. Он продолжал посещать гимназию, однако в любое время дня или ночи его могли отозвать для выполнения воинского долга. Он освободился от школьной муштры, против которой так восставал Эйнштейн. Ни родители, ни учителя не контролировали, чем он занимается, куда ходит, его воинские обязанности не были обременительными. Часто, особенно по утрам, он бывал предоставлен самому себе. С книгой, взятой наугад, он залезал на крышу здания штаба и, лежа на солнце, читал. Однажды ему в руки попала книга Платона «Тимей», благодаря которой он лучше познакомился с атомистическим учением древних греков. В этом диалоге Платона о «природе вещей» бесконечное разнообразие в природе объяснялось на основе нереальных геометрических форм и их комбинаций. Рассуждения Платона произвели на Гейзенберга, как и ранее на его товарища, сильное впечатление. Они не основывались на эксперименте; строго говоря, их даже нельзя было назвать «научными». Однако мысль Платона о том, что фундаментальные частицы материи, которые объясняют бесконечное разнообразие ее форм и свойств, должны сами по себе являться скорее абстрактными понятиями, нежели материальными объектами, показалась Гейзенбергу достаточно разумной, и он навсегда сохранил скептицизм ко всяким попыткам представить эти частицы наглядно.

После окончания гимназии Гейзенберг, подобно Паули и Планку, посещал лекции в Мюнхенском университете, где сначала поступил на математический факультет, так как математика продолжала интересовать его боль-

ше, чем физика. Затем, когда ему уже исполнилось девятнадцать лет, он решил съездить в Геттинген на «фестивальный сезон Бора», как в шутку называли курс лекций, который Бор читал ежегодно в Геттингене и на который съезжалось множество физиков и студентов из различных стран и университетов. Для Гейзенберга это была возможность услышать о современном состоянии атомной физики из уст выдающегося ученого, создателя атомной модели.

Во время ответов Бора на вопросы девятнадцатилетний Гейзенберг, нимало не смущаясь, сообщил профессору Бору, какие из аргументов ему кажутся недостаточно убедительными. Бор ответил на критические замечания, но, почувствовав, должно быть, что его ответы недостаточно обоснованы, после окончания дискуссии подошел к Гейзенбергу и предложил поужинать вдвоем. Они выберутся за стены старого города, отыщут какое-нибудь кафе, расположенное на вершине одного из высоких холмов, откуда открывается прекрасный вид на город, и там, попивая пиво и закусывая, продолжат разговор. «Мы,— сказал Бор,— прекрасно проведем время». Так случай на несколько часов свел вместе этих двух людей, и Бор расстался с Гейзенбергом, находясь под сильным впечатлением таланта последнего. А Гейзенберг после встречи отказался от своего первоначального намерения сделаться математиком и принялся изучать физику. Впоследствии он рассказывал, что его поразил научный подход Бора к проблеме; ему понравилось, что датчанин прежде всего старается отыскать концепцию, которая бы могла объяснить данные экспериментальных наблюдений, и лишь затем дает математическое описание проблемы. Доказательство справедливости такой концепции, т. е. ее математическая обработка, приходит позже как необходимое следствие, но только *после* того, как данная проблема понята.

Во время их первой продолжительной беседы Бор согласился, что на вопросы, поднятые Гейзенбергом, пока еще нельзя дать удовлетворительного ответа. Разговор с отцом современной атомной теории о серьезных и пока еще не решенных проблемах воодушевил Гейзенберга. Ведь если даже он, неспециалист, смог при чтении книги по физике заметить слабые стороны аргументации, то проблемы, действительно, требуют срочного и безотлагательного вмешательства. Возвратившись в Мюнхен,

Гейзенберг занялся изучением физики, а спустя несколько лет, по окончании университета приехал в Копенгаген, чтобы работать вместе с Нильсом Бором.

По словам знавших его людей, Гейзенберг был «блестящим» молодым человеком, щедро одаренным физически и духовно. Он был в высшей степени самоуверенным, «мир для него являлся устрицей», сказал один из его знакомых. В двадцатитрехлетнем возрасте Гейзенберг расшифровал код атомных спектров, основав таким образом квантовую механику и доказав, что Нильс Бор шел по правильному пути.

Но каким бы значительным ни было открытие Гейзенберга, оно не сразу помогло объяснить строение атома. Квантовая теория сначала обрела математическую форму, а потом был понят скрытый в формулах смысл. Одно от другого отделял значительный промежуток времени (почти два года), в течение которого физики все еще никак не могли понять смысл постоянной Планка, не могли ответить на вопросы, поднятые теорией Бора и принципом запрета Паули, и все еще не знали, почему они должны прибегать к помощи статистических законов.

Поэтому прервем на время наше знакомство с физиками и их работой и в следующей главе постараемся ответить на вопросы, поднятые в этой книге, на которые сами физики не могли найти ответа даже спустя несколько лет после выхода в свет работы Гейзенберга.

Прочитав следующую главу, читатель получит известное преимущество перед физиками, жизнь и деятельность которых мы описываем, и с такой выгодной позиции проследит путь, который, наконец, привел физиков к пониманию истинной картины строения атома, а затем снова вернется к Вернеру Гейзенбергу и Нильсу Бору.

Эта пояснительная глава написана в виде диалога между двумя физиками — Олдфилдом и Ньюкоумом. Физики обычно используют грифельную доску и научную терминологию, объясняя свою идею. Они, как правило, ссылаются на работы, которые не известны неспециалистам, присутствующим в аудитории и пытающимся хоть что-нибудь понять. Олдфилд и Ньюкоум не поставят нашего читателя в такое затруднительное положение — лица эти вымышленные.

Введение в современную квантовую теорию

Теперь я знаю, как выглядит атом!

Лорд Резерфорд, 1911

Сейчас мы не только не располагаем совершенной моделью (атома), но знаем, что искать ее бесполезно...

Сэр Джемс Джинс, 1942

В диалоге между двумя вымышленными физиками первое слово предоставляется Олдфилду. Ему ничего не известно об открытиях, сделанных в физике после 1924 года, однако он знаком с теорией радиоактивности Резерфорда — Содди, с формулой Планка $E=h\nu$, с атомной моделью Бора и с другими работами, рассмотренными нами в книге. Выбравшись, наконец, из джунглей Южной Америки, где для нашего с вами удобства он путешествовал начиная с 1921 года до настоящего времени, Олдфилд полон желания узнать, что произошло в физике за этот период. Итак, он приходит к Ньюкоуму — молодому физику, который в состоянии ввести его в курс дела.

Олдфилд: У меня к вам, Ньюкоум, множество вопросов. Прежде всего, объясните мне, пожалуйста, что же представляет собой свет: порции энергии или волновые колебания? Как вы понимаете атом? Каким образом электрон «выбирает» определенную орбиту, по которой затем вращается, и как перед прыжком на нее он «решает», с какой частотой ему следует колебаться? Каким образом электрон «узнает» о том, как движутся другие электроны в атоме? Как он «сообщает» им о характере своего собственного движения? Теория Бора и принцип запрета Паули не дают объяснения такому, по меньшей мере удивительному, поведению. Бор просто использовал постоянную Планка, применив ее к атому. Он заявил,

что атом устойчив благодаря ограничениям, накладываемым на значения энергии, которыми он обладает, ограничениям, которые определяются постоянной Планка. Но ведь нельзя же считать, что число является причиной! Оно не объясняет, почему электрон не падает на ядро. Если вы действительно можете ответить на все заданные мною вопросы, то вам придется отказаться от применения законов статистики. Не так ли?

Ньюкоум: Прежде всего отвечу на ваш первый вопрос: что такое свет? Когда свет распространяется, он представляет собой волновое движение. Однако стоит ему начать взаимодействовать с веществом, как световая энергия преобразуется в определенные порции. И излучает вещество свет также порциями.

Олдфилд: В таком случае, наука нисколько не продвинулась вперед по сравнению с 1905 годом, когда Эйнштейн дал объяснение фотоэлектрического эффекта, ввел понятие фотона. Ведь уже в то время на основании опытов по интерференции света была установлена его волновая природа.

Ньюкоум: Напротив, теперь науке известно неизмеримо больше. Мы знаем, что элементарные частицы материи обладают волновыми свойствами; материя, подобно свету, имеет двойственную природу, проявляющуюся то в виде волны, то в виде корпускулы, причем обе формы взаимосвязаны. И здесь постоянная Планка — квантовая постоянная — играет опять-таки основную роль. Я уверен, что вы помните формулу $E=h\nu$. Левая часть уравнения — энергия, чисто корпускулярная величина, а правая — частота колебания, ею обычно описываются волновые свойства. Постоянная Планка является мерилом степени взаимосвязности этих двух величин. Позже, при изучении материи, было выведено другое, очень похожее уравнение:

$$\text{Импульс} = \frac{\text{Постоянная Планка}}{\text{Длина волны}}.$$

И снова левая часть формулы относится к частицам, ибо величина импульса пропорциональна массе, правая часть указывает на волновые свойства. А постоянная Планка h определяет их взаимосвязь.

Олдфилд: Итак, вместо одной нелепой формулы имеется уже две! Волна излучения характеризует состояние напряженности пространства. В ней нет никаких

границ раздела, она нематериальна. А материальная частица, само собой разумеется, обладает прямо противоположными свойствами. Однако в обеих формулах между ними стоит знак равенства.

Ньюкоум: Прежде чем продолжить нашу беседу, я хотел бы напомнить вам порядок величин тех объектов, о которых мы сейчас говорим. Человеческий глаз способен различить объект, в тысячу раз меньший самого человека. С помощью технических увеличительных средств мы наблюдаем объекты в миллионы раз меньше нас самих. А фотоны и элементарные частицы меньше последних во сто миллионов раз.

Мы никогда не сможем увидеть этот микромир, мы никогда не сможем наблюдать происходящие в нем события, которые длятся всего лишь одну миллионную долю секунды или того меньше.

Еще совсем недавно мы абсолютно ничего не знали о микромире. Затем путем косвенных доказательств (таких, как опыты по рассеянию) мы узнали о его существовании и постепенно начали понимать, что он совсем не похож на окружающий, доступный нашим чувственным восприятиям мир, мир всего предшествующего опыта человечества. Атомы и фотоны не только меньше всего, что нам известно,— они абсолютно не похожи на все, что мы знаем. Физики попали в затруднительное положение. В попытках разгадать неведомый мир они задавали вопросы, подобные тем, какие вы только что задали мне. То были вполне разумные вопросы, но они основывались на опыте, накопленном человеком в совершенно ином мире, и имели очень слабое или вообще не имели никакого отношения к рассматриваемой ими проблеме. Когда физики ставили опыты, стараясь получить ответы на интересующие их вопросы, то, естественно, получаемые результаты казались им бессмысленными, так же как и вам сейчас.

Олдфилд: Вы имеете в виду, что структура материи, как и света, не является по своей природе ни корпускулярной, ни волновой? Вы считаете, что нельзя говорить об определенной локализации элементарной частицы или фотона?

Ньюкоум: Именно так.

Олдфилд: Отсюда следует, что объекты открытого человеком микромира не могут быть представлены наглядной физической моделью, их нельзя изображать в виде геометрической схемы. Все выводы о них делаются на

основании косвенных методов измерения, и потому бесполезно проверять их справедливость. Вы стараетесь понять смысл выводов. Неизбежно, что возникшее у вас представление противоречит всему опыту, накопленному наукой в прошлом, всему тому, что вам известно. Неизбежно, что оно будет ошибочным. Как же в таком случае следует задавать вопросы, чтобы получить на них ответы, *имеющие* смысл?

Ньюкоум: Вот мы и добрались, наконец, до самой сути. Дело в том, что сейчас мы уже понимаем атом. Как это нам удалось? Путем логического анализа того, когда есть смысл, а когда нет задавать вопрос: «Это то или иное»? Квантовая физика — наука, где вводятся ограничения, поэтому при изучении нового мира можно продолжать применять идеи, возникшие в прошлом, и использовать привычную нам логику.

Олдфилд: В таком случае все идет к тому, что мне или придется снова усесться на студенческую скамью и изучать квантовую физику, или я так и не смогу никогда удовлетворить свое любопытство.

Ньюкоум: Отнюдь нет. Думаю, что именно теперь я отвечу на все ваши вопросы. Поговорим сначала об эксперименте, который показывает, почему для объяснения поведения таких элементарных частиц, как электрон, нам необходимы корпускулярная и одновременно волновая модели.

Вам, конечно, знаком прибор, который обычно применяется для демонстрации волновой природы света. Основными его частями являются источник света, барьер с двумя прорезанными щелями, а на противоположном конце— фотографическая пластина или флюоресцирующий экран, который регистрирует луч света. Предположим, световой луч заменен на пучок электронов, двигающихся с постоянной и относительно небольшой скоростью в направлении щелей. При столкновении каждого электрона с флюоресцирующим экраном происходит слабая вспышка — сцинтилляция.

Именно сцинтилляцию следовало ожидать, если электрон является частицей. Однако через некоторое время по мере того, как все большее число электронов начинает ударяться об экран, происходит нечто удивительное: на экране появляется система из равноотстоящих полос, т. е. та самая интерференционная картина, которая получается при тех же условиях в опытах со световым

лучом. Она напоминает зыбь в наполненном водой резервуаре. Чем же объясняется данное явление? Ведь частица не может расшириться, занять определенную площадь экрана и без помощи других частиц образовать интерференционную картину.

Олдфилд: Именно так ведет себя и световая волна, когда она расщеплена на два луча, разность фаз которых является постоянной величиной. Одни максимумы и минимумы усиливают, другие гасят друг друга. Я понимаю всю сложность данной проблемы. Корпускулярная модель электрона не может объяснить его способность образовывать интерференционную картину, а волновая модель, которая объясняет явление интерференции, не в состоянии объяснить сцинтилляции, возникающие на флюоресцирующем экране, в результате сложения которых и возникает интерференционная картина. Если же мы остановимся на волновой модели, то неизбежно должны прийти к выводу, что широкий луч, пройдя сквозь щель, вдруг внезапно сжимается до точки перед тем, как столкнуться с экраном. Самосжимающаяся волна нисколько не лучше саморасширяющейся частицы!

Ньюкоум: Следовательно, вы согласны с тем, что для объяснения данного эксперимента необходимы обе модели, как корпускулярная, так и волновая?

Олдфилд: Постойте! А вы не пробовали проверять, что произойдет, если регистрирующий прибор поднести к одной из щелей? Ведь прибор будет регистрировать только частицы. Вы так делали?

Ньюкоум: Да, пробовал. И прибор действительно регистрировал частицы.

Олдфилд: В таком случае электрон является частицей, когда он проходит сквозь щель и когда ударяется об экран.

Ньюкоум: Но при таких условиях на экране не возникает интерференционная картина. Следовательно, электрон не проявляет своих волновых свойств. С этим приходится постоянно сталкиваться, если рассматривать электрон или только как частицу, или только как волновое колебание. Чтобы обнаружить частицу, имеющую такой порядок величины, надо использовать приборы, действующие как мишень: счетчик, флюоресцирующий экран, камеру Вильсона, а волновые свойства элементарных частиц проявляются только в отсутствие перехватывающей мишени.

Олдфилд: А может быть, опыты были просто недостаточно совершенными? Рано или поздно кто-нибудь из молодых физиков найдет выход из создавшегося положения.

Ньюкоум: В подобных поисках нет никакой необходимости! Вы считаете, что электрон обязательно должен принадлежать к одной из двух категорий: частице или волне. Однако мы располагаем неопровержимым доказательством того, что электрон нельзя отнести к какой-то определенной категории. Сейчас я попробую вам это доказать. Вот вы сказали, что один аспект противоречит другому. Чему именно? Тому, что нам известно. А что нам известно? Объекты и взаимодействия, сравнимые с обычной для нас шкалой величин. Но если вдуматься, то разве не может так быть, что эти два понятия, которые лежат в основе окружающего нас знакомого мира и объясняют происходящее в нем, обладают совершенно новыми качествами, нам неизвестными? Вот, оказывается, как обстоят дела. Так называемые противоречия атомного мира помогают нам лучше познавать хорошо знакомые вещи.

Мне хотелось бы еще кое-что пояснить вам, а потому, упрощения ради, предположим, что электрон имеет привычные нам размеры и поэтому должен быть отнесен либо к волновой, либо к корпускулярной категории, как это имеет место для всех объектов такой величины. Итак, начнем с заведомо ошибочного предположения, что электрон — либо волна, либо корпускула. Как в таком случае узнать, что же он действительно из себя представляет?

Олдфилд: Ну, чтобы доказать, что электрон — частица, необходимо зафиксировать его точное положение в пространстве и измерить его точную массу. Такие измерения могут быть выполнены лишь косвенными методами, путем наблюдения за тем, что происходит при столкновении электрона с каким-нибудь телом взаимодействия. Необходимо, чтобы погрешности были минимальными, следовательно, масса контактирующего объекта не должна превышать массу самого электрона. Последнее условие ограничивает наши возможности: ведь самой легкой единицей материи *является* электрон. Предположим, мы выстрелили пучком электронов сквозь мишень из атомов в флюоресцирующий экран и по картине рассеяния... Но она ведь не появится. Необходимо знать точное положение и скорость электронной пули в тот момент, когда она придет в контакт с электроном мишени, чтобы измерить эффект

соударения и затем произвести точные расчеты. А мы всего этого, естественно, не знаем. Так что такой эксперимент нам ничего не дает! Но существует другая возможность. Если ничего не получается с корпускулярной моделью, следует использовать волновую.

Ньюкоум: Вы ошибаетесь, проблема и в таком случае не будет решена. Когда свет взаимодействует с веществом, он ведет себя как частица. Пуля-фотон будет воздействовать на скорость и положение вещества-мишени точно таким же образом, как и пуля-электрон. Чтобы измерить степень воздействия, опять же необходимо точно знать скорость и положение фотона в пространстве в момент столкновения, чего мы узнать не в состоянии.

Олдфилд: Итак, даже если электрон и является обычной частицей, то доказать это невозможно. Но из других экспериментов мы знаем, что электрон — не обычная частица: он одновременно обладает и волновыми свойствами. Следовательно, не так уж плохо, что мы не в состоянии идентифицировать электрон как частицу.

Но здесь кроется и нечто другое. Любые современные измерительные приборы или те, которые будут созданы, должны состоять или из вещества, или из излучения. Ничего третьего *быть не может*. Отсюда следует, что данные любых измерений атомного мира всегда будут неточными. Ведь сами приборы, используемые для измерений, нельзя точно откалибровать. Поэтому нельзя определить ошибку эксперимента, обусловленную влиянием вещества приборов. Вот в чем *заключается* основная трудность.

Ньюкоум: Поэтому я и предупредил вас, что мы делаем ошибочное предположение. Вы абсолютно правы. Когда объект эксперимента имеет атомные размеры, невозможно установить точную величину ошибки, вносимой прибором. Как поступают в таком случае? Обычно рассматривают полученные данные в совокупности и далее исходят из усредненного значения.

Олдфилд: В известном смысле здесь нет ничего нового. Объект любого эксперимента, атомный или любой другой, должен определенным образом реагировать на прибор. Так, при измерении температуры нагретой жидкости часть тепловой энергии, величину которой хотят измерить, затрачивается на подъем столбика ртути термометра. На это вносят поправку. Часто бывает невозможным определить точную величину поправки, и тогда записывают полученный результат плюс-минус какое-то

определенное число. В данном интервале значений результат измерения считают точным. Это относится к какому-либо изучаемому процессу или измеряемому объекту, но не к самому процессу измерения. В научных экспериментах измеряемое значение некоторой величины всегда отличается от истинного. Когда же величину отклонения нельзя определить в принципе, научный метод нужно изменить радикальным образом.

Ньюкоум: Такой метод, разрешите вам напомнить, применялся для изучения очень крупных объектов и для измерения значительных изменений энергии. В этом случае ученый может сам следить за возмущениями, которые вызваны его вмешательством. Когда он использует в своем эксперименте излучение, например при наблюдении планеты, насекомого и даже живой клетки, его нисколько не беспокоят столкновения фотонов. Легко видеть, что мы сами создали себе иллюзию, думая, что можно во всех случаях контролировать воздействие измерения на измеряемые объекты. Теперь иллюзия исчезла.

Следует отметить, что, как правило, исчезновение иллюзий означает, что человек познал больше. В данном случае мы узнали о взаимоотношении природы и наблюдателя, который в конце концов сам является составной частью природы. Сейчас в физике мы изучаем предельно элементарные компоненты всей материи — живой и неживой. (Биология и физика не так уж далеки друг от друга, как было принято считать.) По мере все более глубокого проникновения в тайны материи мы пришли к мысли, что далее невозможно считать себя какими-то бестелесными сторонними наблюдателями. И я рассматриваю как признак прогресса, что именно физика — наиболее точная из всех естественных наук — подтвердила такой вывод с помощью математических выражений. Я думаю, что это показатель того, что когда-нибудь человек сможет познать живую материю, а значит, и самого себя.

Олдфилд: А что думают представители других наук? Не каждому ведь понравится, что полученные им результаты не так объективны, как казалось прежде.

Ньюкоум: Отношение к успехам в физических науках зависит от философских взглядов каждого человека; я лишь высказал свою собственную точку зрения. Разумеется, некоторым ученым не по душе данный аспект квантовой физики, так как он особенно подчеркивает огромную пропасть между современными и прежними пред-

ставлениями. Особенно часто такие чувства испытывают люди старшего поколения; молодых это попросту не волнует. Их основным девизом является: «Познать... Любыми средствами, но познать!» Так они и поступают. Однако то, что мы оказались не в состоянии отказаться от предвзятых суждений, не помешало нам, тем не менее, хорошо понять электрон и атом в целом.

Олдфилд: Как же это удалось физикам? Сначала вы доказали мне, что структуру элементарных частиц нельзя представить в виде геометрической схемы, ибо им одновременно присущи как определенность локализации в пространстве, так и неопределенность; как материальность, так и нематериальность. Их не только нельзя увидеть — их невозможно представить даже *мысленно*. К ним нельзя применять термины, которыми мы обычно пользуемся в физике: «положение», «частота», «скорость» и т. д. Даже те эксперименты, которые, казалось бы, должны были внести ясность, лишь еще больше нас запутывают. Я имею в виду треки частиц в камере Вильсона, потрескивания в счетчике Гейгера. Ведь находилась же частица там в тот момент, когда счетчик щелкал или когда в ионизационной камере образовывался след! Разве может так быть, чтобы частица в любой момент времени находилась повсюду и нигде?

Ньюкоум: Но ведь вы согласны с тем, что нечто, образующее интерференционную картину, никак не может в тот же самый момент быть локализованным в пространстве. Как нам известно, электрон не является миниатюрной копией вещества. Даже если вы всю свою жизнь проведете в стрельбе песчинками через щели, вам все равно никогда не удастся получить с их помощью интерференционной картины. Логично было бы ожидать наличия элементарной частицы в каком-то определенном месте в любой момент времени, однако электрон не обыкновенная частичка, а поэтому и логические предположения в данном случае лишь вводят нас в заблуждение.

Олдфилд: Итак, атомный мир нельзя изобразить схематично, а логика непременно сбивает с толку. Это не очень-то здорово. К тому же, вы говорили, что результаты атомных экспериментов всегда получаются неточными, а ошибку измерения определить невозможно. Другими словами, получаемая вами информация недостоверна. Отсюда следуют два вывода: во-первых, научные предвидения также будут недостоверными; во-вторых, мы не сможем

узнать, когда будет получена наиболее исчерпывающая информация об электроне. Если принимать во внимание его волновые свойства, то надо проводить одного рода эксперимент, если корпускулярные — эксперимент должен быть совершенно другим. Одно и то же рассматривается в различное время под совершенно противоположными углами зрения. В таком случае имеем ли мы право утверждать при анализе результатов этих двух экспериментов, что ничего не было упущено? Полученные данные не убедительны. Их нельзя подытожить, они не подходят друг к другу, не являются составными частями одной мозаичной картины.

Ньюкоум: Напротив! В известном смысле неправильно говорить о каких-то отдельных экспериментах, как это мы делали, так как они действительно кажутся «не убедительными». Фактически наши знания накапливаются в результате проведения огромного количества различных экспериментов и последующей их математической обработки. Так, нам известно, что в одних экспериментах мы определяем положение электрона с максимально возможной точностью, а в других экспериментах определяем точное значение его скорости. Такие эксперименты взаимно исключают друг друга: точно измеряя одно свойство, мы совсем ничего не узнаем о другом. Опыт по интерференции, о котором мы говорили, хорошо иллюстрирует это общее правило. Он состоит из двух взаимно исключающих экспериментов: один проводится с приборами, фиксирующими положение электрона, другой — без них. Применяя регистрирующий прибор, мы узнаем о местонахождении электрона, ничего не зная о его скорости, а интерференционная картина, которая меняется в зависимости от скорости электрона, дает нам эту информацию, но не она является целью эксперимента.

Можно и должно проводить различные эксперименты, чтобы изучить различные аспекты элементарных частиц, а затем подытожить полученные результаты, т. е. сложить кусочки мозаики вместе. Нам ведь известно, когда мы получаем максимум возможной информации.

Кроме того, мы спокойно продолжаем применять прежние научные и логические понятия, так как знаем, когда нельзя, а когда можно это делать. В физике, как вам известно, сами термины напоминают об измерениях. Помня об измерениях, которые кроются в самих терминах, мы не подвергаемся риску противоречить самим себе.

Олдфилд: То-то я удивился, что вы используете термин «элементарная частица».

Ньюкоум: Вот именно. Мы употребляем такие понятия как «частица», «длина волны» и т. д., так как знаем, когда они имеют смысл, а когда — нет. То же самое относится и к наглядным физическим моделям. Ни одна модель не в состоянии отобразить все, что мы знаем об атоме, но поскольку нам известно, что в них упущено, мы продолжаем их использовать. И, как прежде, они помогают нам в познании. Используя то одну, то другую «противоречащую» модель, мы начинаем представлять целое.

Олдфилд: А что вы скажете относительно другой проблемы? Вы получаете максимальную информацию, но этого все же недостаточно для точного предсказания. Для измерения «положения» необходим один вид эксперимента, для измерения «скорости» — другой. Каждое отдельное измерение дает точное значение, но каждое относится к различным моментам времени. Ведь точно предсказать, где окажется какой-то объект через определенный промежуток времени, можно только в том случае, если измерения проведены одновременно.

Ньюкоум: И снова следует подчеркнуть, что электрон не является «объектом». Измерения, о которых вы говорили, применяются для объектов обычного масштаба, и едва ли приходится удивляться, что они не применимы в данном случае. То же самое относится и к сравнительным измерениям, которые нам необходимы для предсказания волнового движения в последующие моменты времени.

Олдфилд: Тогда в атомных исследованиях невозможны точные предсказания.

Ньюкоум: Невозможны такие предсказания, какие мы делали в случае явлений обычного масштаба, из чего отнюдь не следует, что все наши предсказания будут неточными. Поведение электрона подчиняется статистическим законам. Это можно заметить на примере опыта по интерференции. Волновая картина различной интенсивности слагается из отдельных точек, где происходят столкновения электрона с экраном. В тех местах, где явление интерференции наиболее ярко выражено, число таких столкновений было наибольшим: там, где картина интерференции более туманна, произошло меньше столкновений; черные пятна показывают, что столкновений электрона с экраном в этом месте совсем не было. Чтобы точно предсказать, где находились электроны, необходимо

принять во внимание большое их количество. По мере того как число электронов, ударяющихся об экран, возрастает, ответ на вопрос: «В каком месте может быть обнаружено наибольшее число электронов?» будет все более точным.

Олдфилд: Ваши рассуждения поражают меня отсутствием логики. Ставя эксперимент, вы наперед знаете, каким будет конечный результат: определенный вид картины интерференции, зависящий от скорости используемого вами электронного пучка, а также от размера и положения щелей в барьере.

Ньюкоум: Я вовсе не говорил, что мы занимаемся предсказанием уже известного! Я просто проиллюстрировал, как делаются предсказания с помощью законов квантовой механики, которым подчиняется атом. Определить, где окажется любой единичный электрон через некоторый интервал времени, невозможно. Однако мы в состоянии предсказать, и причем с высокой точностью, где будет обнаружена большая группа электронов. Наши предсказания всегда носят статистический характер; их точность зависит от того, какое количество тождественных случаев было нами рассмотрено. Но это совсем не похоже на подсчет числа людей, принимающих участие в выборах, или на выяснение причины закупки ими каких-то определенных продуктов. Позвольте мне отметить, что микромир складывается из тождественных ситуаций. Должны же вы признать, что электронов великое множество! И все они абсолютно тождественны.

Олдфилд: Но почему вы уверены, что они тождественны, если вы даже не могли их точно измерить?

Ньюкоум: Об этом, как и о многих других вещах в квантовой физике, мы узнали от математиков. Математические выкладки говорят, что так должно быть.

Олдфилд: Вы говорили, что точность измерения в квантовой механике возрастает с увеличением числа рассматриваемых случаев. Отсюда следует, что квантовая и классическая механики должны давать один и тот же ответ при рассмотрении явлений микромира, в которых участвует огромное количество атомов.

Ньюкоум: Вы правы, ответ будет одним и тем же. Но форма ответов разная. Логические конструкции в квантовой механике таковы, что из них могут быть выведены только различного рода вероятности. В случае явления макроскопического масштаба данная вероятность бу-

дет подавляющей, т. е. она будет сводиться к несомненному факту. Квантовая механика является универсальной теорией, а классическая механика входит в нее как предельный и частный случай. Вот почему, когда квантовой механики еще не существовало, закон соответствия Бора мог рассматриваться как надежный руководящий принцип. Применяя его, получали результаты, хорошо согласующиеся с физической реальностью, но они не были абсолютными и не являлись логическим следствием предположений. С другой стороны, квантовая механика является точным вычислительным аппаратом. С ее помощью можно рассчитать почти каждое атомное явление. Сегодня мы располагаем весьма глубокими представлениями о поведении атома в целом. Мы пошли еще дальше — познали структуру ядра, которая проявляется только при чрезвычайно высоких энергиях, когда материя утрачивает свой атомный характер.

Олдфилд: Меня всегда удивляло, как Резерфорду удалось открыть существование атомного ядра. Ведь в то время не было ни принципа соответствия, ни квантовой механики. Для объяснения поставленных им опытов по рассеянию альфа-частиц Резерфорд сделал некоторые статистические предположения, основываясь при этом на классических законах движения. Он даже смог вычислить размер ядра.

Ньюкоум: Резерфорду просто повезло. В том конкретном случае, который рассматривал Резерфорд, решение, даваемое старой классической механикой, совпадает с результатами, получаемыми при применении новой механики. То есть проблема решается и тем, и другим способом. Именно благодаря этому счастливому совпадению физики в 1911 году оказались на правильном пути.

Олдфилд: А что вы скажете насчет закона радиоактивности Резерфорда — Содди? Они точно определили скорости радиоактивного распада. Следовательно, можно вывести те же самые законы и с помощью квантовой механики, если последняя, как вы утверждаете, является универсальной теорией.

Ньюкоум: Да. И теперь мы понимаем, почему эти законы должны иметь статистический характер. Мы привыкли считать, что путем усовершенствования методики, применяя способ, которым исследуются явления макромира, можно измерить любой единичный атом и наконецто ответить на вопрос: «Что вызывает радиоактивный рас-

пад»? Зная ответ, мы вывели бы закон радиоактивного распада, аналогичный тем, которые уже находились в арсенале физики, рассматривающей явления макроскопического масштаба. Мы избавились бы от периодов полураспада, от статистических закономерностей, которые в них скрыты. Сейчас мы знаем неизмеримо больше. Вопрос: «Что определяет, или вызывает, радиоактивный распад»? является одним из обычных вопросов макромира, которые не имеют никакого смысла в корпускулярно-волновом мире атомов. Мы не ищем теперь ответа на подобный вопрос, так как вопрос абсолютно неправилен. Статистические правила Резерфорда и Содди не имеют преходящего характера. Они отражают наши знания о радиоактивном распаде в максимально возможной степени.

Олдфилд: И снова в том, что вы сказали, имеется философский подтекст. Ваши слова противоречат представлению о том, что каждое событие в природе может быть прослежено до вызвавшей его причины. Но вместо того, чтобы философствовать, поговорим лучше об атомной модели Нильса Бора. Вы сообщили мне так много нового, что я надеюсь самостоятельно разрешить некоторые из стоявших перед Бором проблем. Гипотеза Бора о том, что электрон является обычной частицей и потому должен двигаться по орбитам вокруг ядра, была ошибочной, его идея применить постоянную Планка к случаю атома — правильной. Использовав число h для ограничения движения частицы, он смог ближе продвинуться к цели, чем классическая механика, а для проверки своих выводов он затем использовал принцип соответствия. Но следовало разработать совершенно новые законы движения, чтобы объяснить движение чего-то, обладающего волновыми свойствами.

Ньюкоум: Да. То же самое справедливо и для излучения. Квантовая механика объясняет корпускулярно-волновую природу материи; квантовая же электродинамика является теорией излучения.

Олдфилд: В атомной модели Бора вызывает удивление то обстоятельство, что при замене электрона-частицы на электрон-волну получают вполне приемлемое объяснение поведения атомов и избавляются от мысли, что электрон обладает удивительными свойствами. Из сказанного вами я понял, что могу спокойно использовать волновую модель, не забывая при этом, что она не дает *исчерпывающей* картины.

Ньюкоум: Продолжайте, пожалуйста.

Олдфилд: Рассмотрим атом водорода, когда он находится в нормальном состоянии. Заряд ядра будет притягивать электронную волну так, как он притягивал бы частицу. Но частица при подобных обстоятельствах может двигаться по многим различным направлениям, по многим орбитам, а волна имеет только одну степень свободы, одну форму. Под воздействием ядерных сил она ограничена областью, которую мы называем «атомом», и заполняет собой эту область. Волна должна принять форму, которая ей как раз «впору». Если же она *не имеет* данной формы, не совершает единственно доступного ей движения, ее колебания будут интерферировать одно с другим. Колебания станут затухать. Так, если закрепить веревку с одного конца, а другой взять в руку и встряхивать, то можно получить стационарные колебания. На веревке возникнут пучности; их количество зависит от скорости, с которой встряхивают веревку. Однако вследствие наложенных граничных условий (веревка прочно закреплена за оба конца), получается только 1, 2, 3 или некоторое другое целое число пучностей волны, которое соответствует длине веревки; не может быть получено никакого дробного числа пучностей при условии, что колебание является стационарным. Граничные условия лимитируют количество возможных форм. То же самое наблюдается и в случае атома. Аналогично находят объяснение эксперименту типа опыта Франка — Герца, в котором атому сообщается все больше и больше энергии (сравните со все более быстрым встряхиванием веревки). Установлено, что атом может поглощать только некоторые вполне определенные количества энергии. В случае корпускулярной модели это означает, что электрон должен каким-то образом отыскать путь перехода на соответствующую орбиту. Но волновой электрон, по определению, поглощает только вполне определенные порции энергии, иначе он будет «погашен».

Кроме того, обе модели по-разному отвечают на вопрос относительно изменения частоты колебаний. Частицеподобный электрон, возвращаясь на расположенную близ ядра орбиту, должен «знать», где она находится, и изменять частоту своих колебаний в зависимости от сделанного им выбора. Для волнового электрона такой проблемы не возникает. Существует всего лишь несколько возможных форм волны, которые укладываются в грани-

цах атома; всего лишь несколько частот колебаний, которые соответствуют каждой форме. Как только волна принимает другую форму, автоматически должна измениться и частота колебания электрона. Волна ничего не должна «знать». По-видимому, такая волновая модель способна ответить на те вопросы, на которые модель Бора не смогла дать ответ.

Ньюкоум: Совершенно правильно. Но позвольте мне, однако, напомнить, что волновая модель предусматривает наличие определенных ограничений. Когда вещество находится в высокоэнергетичном состоянии, как это имеет место на Солнце, применять волновую модель нельзя. В условиях очень высоких энергий устойчивость, присущая атому, полностью исчезает. Характерная волновая картина, которая указывает на дискретные состояния вещества, больше не появляется. Но для энергий, встречающихся на нашей планете, нам больше подходит волновая модель; она прекрасно объясняет поведение вещества при «обычных» условиях.

Олдфилд: Что ж, вполне логично! Определенный заряд ядра обусловливает особого рода движение электрона. Иного движения быть не может. При переходе от атома водорода с одним электроном к гелию, обладающему двумя электронами, условия меняются. Заряд ядра гелия больше, и, кроме того, на волну второго электрона будет воздействовать волна первого электрона. Это означает, что каждый атом гелия в нормальном состоянии имеет только одну характерную для него форму, отличающуюся от таковой для атома водорода или для любого другого элемента. Все электроны тождественны, однако если добавить к атому хотя бы один электрон, в свойствах атома происходят радикальные изменения. Количественные изменения переходят в качественные. Почему? Частицеподобный электрон не может нам этого рассказать или, скорее, он способен рассказать только в том случае, если предположить, что частица может передавать информацию о своих разнообразных движениях другим частицам, чтобы ни одна из них не повторяла в точности ее движение. Но притягиваемые ядром волны должны распространяться по всему объему атома; такова уж их природа. Они должны находиться повсюду и повсюду реагировать на изменения условий. Добавился еще один электрон к атому — и сразу происходят качественные изменения. Я начинаю понимать, что вы имели в виду, когда говори-

ли, что ограничения квантовой физики позволяют нам делать логичные выводы.

Ньюкоум: Да, квантовая физика дает нам возможность ответить на вопросы, которые начинаются словом «почему». Классическая механика не была в состоянии ответить на подобные вопросы, так как ее законы давали бесконечно большое число решений, не отвечающих тому, что фактически наблюдается в природе. Почему атомы в кристаллической решетке расположены с геометрической упорядоченностью, как если бы они были отштампованы машиной? В самом деле, почему снежинки имеют наблюдаемую нами форму? Почему все живое в природе симметрично? Ответ лежит в квантовой области природы, где постоянная Планка является важнейшим числом и где странное единство свойств, провозглашаемое этим числом, наиболее очевидно. Несколько возможных конфигураций электронной волны, которые имеют место (восьмерка, крестообразная форма и т. д.), все строго симметричные лежат в основе единства и отображены в формах окружающих нас предметов. Эти несколько форм волны, отображающих движение электронов в поле ядра, объясняют, почему атомы и молекулы соединяются именно так, а не иначе. В настоящее время электронная оболочка, благодаря Нильсу Бору, представляется как картина переплетающихся электронных волн. В некоторых картинах, в зависимости от числа электронов, присутствующих в атоме, не хватает отдельных частей, подобно тому как иногда не хватает кусочков в мозаичной картине. Атом, имеющий такую картину, легко вступает в реакцию с атомами, способными отдать части, недостающие первому атому для завершения полной волновой картины, образуя при этом молекулу. В гигантских белковых молекулах, из которых построена живая природа, структурные перестройки усложняются, количество их очень велико, однако все же и оно ограничено. Происходят только вполне определенные особые перестройки, и в молекуле ДНК такая перестройка определяет нашу генетическую наследственность. Казалось бы, эта проблема очень далека от ограниченной электронной волны, но именно благодаря тому, что мы ее так хорошо усвоили, мы начинаем понимать проблему происхождения жизни.

Олдфилд: Мне хотелось бы, чтобы вы еще что-нибудь рассказали о квантовой механике и затронули бы ее математическую основу. Однако уже довольно поздно и...

Ньюкоум: И все же прежде чем вы уйдете, я кратко расскажу о математическом аппарате, который мы используем при решении проблем. Рассказав, чем фактически *занимаются* физики-атомники, я тем самым смогу подвести черту.

Существует несколько форм символического выражения квантовой механики, так сказать, несколько ее интерпретаций. Одна из них имеет сходство с законами классической механики для движущихся тел. Другая использует дифференциальное уравнение, подобное уравнению, выведенному ранее для описания колебательных движений. Но символы в квантовой механике не имеют никакого отношения ни к реальным частицам, ни к реальным волнам.

Чаще всего физики используют волновую форму. В принципе это просто: существует основное дифференциальное уравнение, решение которого дает величину, которую мы называем «волновой функцией». В уравнение, как обычно, подставляют численные значения отдельных величин, значения, которые находят из экспериментов для таких понятий, как «положение» и «частота». Мы знаем, что эти понятия лишены физического смысла в квантовой области. Нам известно, что получаемые экспериментальные значения представляют собой сумму измеренной величины и степени воздействия измерительного прибора. Вид уравнения таков, что отсутствие физического смысла автоматически выявляется. Вы поймете, что я имею в виду, когда услышите, как поступают дальше.

Итак, в уравнение подставляют числовые значения, которые характеризуют исходные данные, желая получить ответ на вопрос: что можно ожидать в будущем. Это позволяет нам делать предсказание и проверять его. Затем, как поступают обычно в физике, решают уравнение и получают в результате волновую функцию. Волновая функция не описывает реальных свойств, а показывает лишь вероятность их обнаружения при данных условиях эксперимента. Она представляет собой набор различных событий, одни из которых более вероятны, чем другие. Степень вероятности зависит от числа рассматриваемых тождественных случаев.

Олдфилд: Благодарю вас, Ньюкоум. А теперь разрешите проститься с вами. Честно говоря, от этого жонглирования противоположностями, которым мы сейчас занимались, я так устал, что хотел бы пойти отдохнуть.

Ньюкоум: Часто говорят, что если ты не безумец, то не сможешь понять квантовую физику. Но пока вы еще держитесь на ногах, позвольте все-таки рассказать, что произошло после создания квантовой механики. Постараюсь быть кратким. Тот факт, что путь электрона нельзя проследить, указывает на невозможность отличить один электрон от другого. Значит, наши уравнения должны отображать их неразличимость, они должны быть составлены таким образом, чтобы замена электрона на электрон не влияла бы на абсолютные значения получаемого нами решения. Практически это достигается приданием уравнению симметричной формы. Введение симметрии в уравнение, однако, означает ограничение числа решений. В таком случае возникает вопрос: «Согласуются ли решения, получаемые из нового уравнения, с тем, что нам известно?» Безусловно, ответ будет утвердительным, ибо симметричная форма уравнения накладывает ограничения на энергетические состояния электрона, утверждая, что не может существовать двух электронов в одной и той же физической системе, совершающих одно и то же движение.

Олдфилд: Но ведь это же принцип запрета Паули!

Ньюкоум: Вот именно. Еще до появления квантовой механики мы знали, что такой принцип должен существовать, а сейчас понимаем, что он непосредственно вытекает из математики, которая описывает наше понимание физического мира.

В следующей главе мы вернемся к Вернеру Гейзенбергу, который, расшифровав код атомных спектров, заложил фундамент квантовой механики, и к некоторым другим физикам, внесшим существенный вклад в эту теорию. Сначала мы познакомимся с развитием формального математического аппарата, который был разработан задолго до того, как было понято его огромное значение.

Путь становления квантовой теории отличается от пути, по которому шло развитие теории относительности. Эйнштейн начал с общего принципа, имеющего отношение к физическим событиям, и уже на его основе сделал логические выводы. Ему с самого начала было совершенно ясно, что именно рассказывает о природе его теория. Однако в случае квантовой теории основной принцип должен был вытекать из математической символики путем ее применения ко многим конкретным случаям. В главе одиннадцатой мы еще вернемся к этому вопросу и к физикам, кото-

рые, подобно вымышленному Олдфилду, выступали против представлений, сложившихся у человека на основе наблюдений привычных ему явлений окружающего мира, против представлений, которые иногда называют «здравым смыслом».

А теперь вернемся к Гейзенбергу и к тому времени, когда никто не мог разобраться в тех вещах, о которых рассказывал Ньюкоум, когда еще не существовало квантовой механики, когда эксперименты, демонстрирующие волновые свойства материи, еще не были проведены, когда смысл постоянной Планка еще не был выяснен и никто не знал, почему необходимо применять статистические законы.

Особое внимание привлекает следующее обстоятельство: почему логические доказательства в то время терпели неудачу за неудачей? Идеи, которые, казалось бы, соответствовали тому, что мы наблюдаем в природе, оказывались несостоятельными, когда их пытались применить к миру атомов и фотонов. В 1924 году до ответа на этот вопрос было еще очень далеко. На повестке дня стоял другой вопрос: «Действительно ли природа не подчиняется законам классической физики или мы просто не умеем их применять?» Некоторые физики задавали себе еще более волнующий вопрос: «Быть может,— спрашивали они,— мы подошли к той области природы, которая недоступна человеческому разуму? Быть может, человеческий мозг просто не в состоянии постичь атомный мир?» Вполне вероятно, что Вольфганг Паули и испытывал нечто подобное, когда однажды признался своему другу, что физика «для меня слишком трудна и мне хотелось бы быть комиком в кино или еще кем-нибудь и больше никогда ничего не слышать о физике».

Это случилось как раз незадолго до наступления «рассвета» современной физики, когда неожиданно все стало на свои места и физики сказали: «Как же все просто! Почему нельзя было додуматься до этого раньше!»

Создание квантовой механики

Едва ли найдется другой такой период в истории науки, когда за столь короткое время было сделано так много и всего несколькими учеными.

Виктор Ф. Вайскопф

«Лишь счастливая догадка может помочь перевести принцип соответствия Бора на математическую основу», — писал Вернер Гейзенберг в 1924 году Вольфгангу Паули. Гейзенберг, который раньше весьма недоверчиво относился к атомным моделям, работал в то время у Бора вместе с Гансом Крамерсом — неизменным ассистентом Бора с момента основания института. От Крамерса Гейзенберг узнал, как применять принцип соответствия. Мы уже говорили, что этот метод скорее следовало отнести к сфере искусства, нежели науки; принцип соответствия невозможно было представить в строгой математической форме; его нужно было изучать на практике, что Гейзенберг и делал, наблюдая, как применяют его в разных случаях Бор и его коллеги. Со свойственной ему смелостью Гейзенберг предложил выход из создавшегося положения. Принцип следовало представить в виде цепи логических рассуждений, которые помогли бы предвосхитить экспериментальные данные. Такая логическая система, такой точный инструмент, безусловно, позволит описать таинственный мир атома.

Гейзенберг надеялся, что «счастливая догадка» поможет ему найти подобный инструмент. Он не желал идти по проторенному пути: сначала представить мысленно, какую структуру должен иметь атом, чтобы в нем происходили наблюдаемые явления, причину которых следовало установить, а затем, основываясь на данной структуре, попытаться узнать, действительно ли эта модель служит

причиной наблюдаемых явлений. С тех пор, как Гейзенберг учился в Максимиллианской гимназии, он значительно пополнил багаж своих знаний по атомной физике, но так ничего и не узнал, из того, что могло бы укрепить его веру в справедливость атомных моделей. Он прекрасно видел слабые стороны атомной теории Бора. Выдвинутый Бором постулат о дискретности уровней энергии в атоме был подтвержден экспериментально; однако не имелось никаких доказательств в поддержку его идеи о существовании дискретных орбит. Не было доказательств и того, что электрон в атоме движется таким же образом, как движутся более крупные материальные тела. С помощью счетчиков и ионизационных камер наблюдали эффекты, производимые электронами, но то были свободные, не связанные с атомом электроны.

При разработке своего метода Гейзенберг избегал строить хоть какие-либо предположения относительно структуры атома. Обычно он использовал только достоверные экспериментальные данные. В общих чертах его рассуждения, сводились к следующему *: Нам ничего не известно о поведении электрона внутри атома, однако мы много знаем о его поведении вне атома. Нам известно, что ускоренный заряд (электрон) непрерывно излучает электромагнитные волны, причем частота излучения всегда равна «частоте», с которой повторяется в атоме движение электрона. (Например, частота движения электрона вверх и вниз по радиоантенне точно такая же, как и частота излучаемых колебаний.) Назовем эту достоверную информацию утверждением А.

Итак, электрон, движущийся в атоме, представляет собой ускоренный заряд. Согласно утверждению А, он излучает, и частота излучения равна частоте, с которой повторяется движение электрона. Однако если предположить, что электрон движется по орбите, то расчет дает неверный ответ: частота вращения электрона по орбите не равна частоте излучения. Столкнувшись с этим и другими противоречиями, Бор выдвинул гипотезу орбитальных переходов. Он заявил, что энергия, теряемая атомом при *переходе*, определяет частоту излучения. Но такой вывод оказался справедлив лишь для простейшего случая — атома водорода. Тем не менее идея переходов электрона с испусканием (поглощением) энергии основывает-

* Точнее говоря, ход его рассуждений мог быть таковым.

ся на предположении о существовании орбит. У нас отсутствуют экспериментальные доказательства существования орбит, однако мы располагаем неопровержимым доказательством справедливости утверждения А.

Если мы хотим в основу теории положить доказательство, а не предположение, можно воспользоваться следующим выходом. В одном-единственном случае предсказания теории Бора почти в точности соответствуют утверждению А. Это предельный случай, когда электрон очень удален от ядра и, согласно теории Бора, вращается по орбите огромного радиуса. При расчете частоты, с которой электрон будет заполнять такую гипотетическую орбиту огромного радиуса, получается правильный ответ: частота вращения электрона по орбите равна частоте его излучения. В этом случае, который может быть описан как законами классической физики, так и объяснен открытыми Бором квантовыми представлениями, электрон почти не связан с атомом и должен двигаться во многом аналогично тому, как он движется, когда его путь наблюдают с помощью ионизационной камеры, мы получаем конкретные данные, от которых можно оттолкнуться.

Проанализируем тщательно данный случай. Рассмотрим процесс излучения, возникающего на границе атома, разложим это волновое движение в ряд гармонических колебаний, т. е. будем считать, что такая-то часть излучения имеет частоту X, такая-то — частоту Y и т. д. Операция должна с математической точностью описывать *движение* электрона на границе атома, ибо частоты движения электрона и излучения одинаковы. Теперь попытаемся узнать подробнее о поведении электрона внутри атома. Для этого перенесем рассмотренный выше предельный случай на другие, которые представляли бы движение электрона внутри атома. Ведь доказал же нам Бор своим принципом соответствия, что внутриатомные явления можно объяснить на основе явлений, происходящих вне атома. Остается только найти подходящий логический метод. Задача эта не должна быть очень трудной, так как нам уже известно, что мы должны получить, если метод выбран правильно. Согласно утверждению А, которое является нашим «достоверным» доказательством существования электрона, такой метод должен привести к реальным линейчатым спектрам с их дискретными значениями частот.

Если удастся это сделать, если мы найдем логический переход от граничного случая ко всему спектру, то, как

уже отмечалось выше, проблема расшифровки кода линейчатого спектра будет решена. Тогда мы получим систему, которая в точности описывает неизвестный внутриатомный мир. Итак, задача заключается в поиске правильного метода. А что если ответ кроется в законах движения (это и было той самой счастливой догадкой Гейзенберга), которые применимы к телам макроскопического масштаба? Чтобы определить путь, пройденный таким телом, умножают величину, характеризующую положение тела в некоторый момент времени, на его импульс (масса × скорость) в тот же самый момент времени. А что если умножить одно квантовое значение частоты на другое? (В работе Гейзенберга любопытную роль сыграло действие умножения, которое он применил для манипуляции с набором символов, соответствовавших вводимым им частотам.)

В то время, когда, размышляя таким образом, Гейзенберг пришел к этой мысли, он уже находился не в Копенгагене. Проработав год с Бором, Гейзенберг перебрался в Германию и стал ассистентом профессора Макса Борна в Геттингенском университете; именно здесь и пришла ему на ум счастливая догадка. Чтобы как следует обдумать ее, требовалось время. Благоприятная возможность подвернулась неожиданно: весной 1925 года у Гейзенберга был приступ сенной лихорадки, и ему пришлось взять отпуск. Итак, оказавшись в одиночестве на островке Гельголанд в Северном море, он вволю размышлял, производил расчеты, а в часы досуга взбирался на высокие красные скалы Гельголанда. В июле Гейзенберг возвратился в Геттинген и вручил законченную работу Максу Борну, который должен был дать оценку статье, прежде чем она будет опубликована. Одновременно Гейзенберг попросил Борна предоставить ему дополнительный отпуск и вскоре уже был у Бора в Копенгагене.

Новая система Гейзенберга не позволяла вывести с ее помощью линейчатый спектр атома. Даже при самом счастливом стечении обстоятельств такой расчет являлся огромной работой (и является таковой даже с применением электронно-вычислительных машин). Дискретность в значениях частот, которую он ввел, очень усложнила задачу. Однако в поддержку его работы говорили другие обстоятельства. Борн сразу понял ее важное значение и отправил статью в журнал для публикации.

Но в предложенной Гейзенбергом системе перемножения одного набора частот на другой что-то тревожило Борна. Она казалась ему знакомой: где мог он ее видеть? Его ассистент, как сказал позже Борн, «был исключительно талантлив, но молод и невежествен». Не наткнулся ли он случайно на то, что уже было известно науке? Как мы увидим, Борн не ошибся.

В то время, когда Макс Борн ломал себе голову над работой Гейзенберга, он возглавлял один из трех физических факультетов Геттингенского университета. (В Германии возглавлять факультет должен был обязательно профессор, а так как в Геттингене было тогда три профессора физики, то соответственно существовало и три физических факультета.) Теоретические работы Борна и написанные им учебные пособия получили широкую известность, поэтому молодые физики стремились попасть в Геттингенский университет, который приобрел не меньшую популярность, чем Институт Бора. Здесь некоторое время учился Паули, а позже такие выдающиеся физики, как Эдвард Теллер и Роберт Оппенгеймер, а также многие известные математики, ибо Геттингенский университет тогда считался центром математического мира. Сам город славился своими живописными окрестностями: полуразрушенными старинными замками, где во внутреннем дворе теперь подавали кофе и взбитые сливки; своими красивыми парками, где играл оркестр, а под густыми кронами больших деревьев с местными девушками танцевали студенты.

Случалось, физики и поругивали Геттинген. Слишком уж большое значение придавалось там чисто экспериментальной стороне, поговаривали некоторые, особенно те, кто был близок к Нильсу Бору. К тому же Макс Борн, который привык в Германии к педантичному университетскому укладу жизни, не испытывал любви к дискуссиям, как хотелось бы некоторым из его студентов.

По воспоминаниям современников, угрюмый, вспыльчивый Борн обладал музыкальными и литературными способностями, однако, «превыше всего» ценил теоретическую физику. Он принадлежал к людям, которые могут сказать резкость, если кто-нибудь выразит сомнение в справедливости высказываемых им идей, но спустя некоторое время готовы просить извинения: «....Не стоит обращать внимания на мою грубость... Я просто испытываю какое-то чувство внутреннего сопротивления ко

всему, что исходит от других. Я злюсь и бываю груб, но потом всегда соглашаюсь, если замечание справедливо».

Что же озадачило Борна в работе, которую вручил ему Гейзенберг весной 1925 года? Дело в том, что двадцать лет назад, когда Борн был студентом университета в Бреслау, он посещал лекции по многим дисциплинам, не входящим в университетскую программу для физических факультетов: лекции по химии, зоологии, философии, логике, астрономии, математике. Одна из услышанных им лекций была посвящена матричной алгебре. В то время она не очень заинтересовала Борна, но хотя с тех пор прошло много лет, он тем не менее сохранил туманное представление об услышанном на этой лекции и после некоторого умственного напряжения смог вспомнить несколько теорем, относящихся к матрицам — квадратным таблицам чисел. Он наконец понял, что его тревожило в предложенном Гейзенбергом методе: метод можно было изложить иначе, если представить гейзенберговские квантовые частоты в знакомой форме квадратных таблиц, в виде матрицы. Сам того не зная, талантливый, но недостаточно эрудированный Гейзенберг вновь открыл некоторые, уже известные математикам, правила матричной алгебры — математический аппарат, который был необходим ему для оперирования с набором атомных данных.

Казалось удивительным, что область математики, созданная много лет назад, прекрасно подходила для описания недавно открытого атомного мира. Обнаружив это, Борн тотчас же принялся за работу. Прежде всего он изучил матричную алгебру. Затем при помощи одного из своих лучших учеников — Паскуаля Йордана — он преобразовал систему Гейзенберга, придав ей более общий вид. Позже к ним присоединился Гейзенберг.

По своей форме разработанная ими новая система напоминала законы классической механики, законы, управляющие движением тел, от планет до песчинок, т. е. тел, обычных для человека. Но если язык классической механики включал в себя понятия «положение», «импульс» и другие характеризующие движение, понятия новой механики относились к квантовым величинам, что находилось в соответствии с первоначальной идеей Гейзенберга. Манипуляция этими таблицами позволяла дать ответ как на любую задачу, которая решалась с помо-

щью классической механики, так и иа ту, перед которой классическая механика оказывалась бессильна. По крайней мере имеино для этой цели и предиазначалась иовая матричиая механика. Случилось ли так иа самом деле, мы узнаем позже.

Когда в Копенгагене Гейзенберг увидел первые плоды работы Борна и Йордаиа, он пришел в полнейшее замешательство. Ученые в Геттингене так много говорили о матрицах, что Гейзенберг как-то пожаловался Нильсу Бору: «.... но я ведь не имею ии малейшего представления о матрицах». Одиако вскоре он овладел новой системой и обнаружил, что получаемые с ее помощью выводы хорошо согласуются с известными классическими законами, такими, например, как закон сохраиения энергии. «Страиио было обиаружить,— рассказывал Гейзеиберг,— что многие старые законы ньютоновой мехаиики .... можно вывести с помощью новой системы».

Но являлась ли она шагом вперед по сравнению со старой классической механикой? Сначала Гейзенберга постигло разочарование: все его попытки рассчитать спектр атома водорода с помощью иовой системы потерпели неудачу. Затем, к его удивлению и восторгу, этим занялся Вольфганг Паули, который в короткий срок ухитрился справиться с трудностями иовой механики, совсем иедавио появившейся на страницах журнала. Паули не только вывел спектр свободиого атома водорода, ио учел и те измеиения, которые происходят в спектре под действием электрического и магнитного полей, что до сих пор считалось невозможным. Со временем вывели спектры и для других элементов. Сам Гейзенберг продемонстрировал глубокое поиимание матричной механики, предсказав с ее помощью существование формы водорода, которая была вскоре «открыта».

Вериер Гейзенберг сумел превратить принцип соответствия, считавшийся скорее искусством, нежели научиым методом, в строгую логическую систему. Он расшифровал код атомиых спектров. Подобио тому как различиые частоты излучения атома рассматривались как код внутриатомных превращений, матричная механика, с помощью которой был расшифрован спектр, в сжатой форме давала иформацию об атоме. Бор, Паули, Гейзеиберг, Борн и другие ученые применяли матричиую механику, пытаясь поиять до конца ее значение.

Но прежде чем они добились успеха, произошло нечто совершенно непредвиденное: весной 1926 года они с удивлением обнаружили на страницах одного из научных журналов описание *другого* варианта атомной механики. Как и механика, созданная Гейзенбергом и его коллегами, она являла собой логически законченную систему, содержащую в себе выводы классической механики и позволяющую объяснить спектр атомов. Но эта механика, предложенная австрийцем Эрвином Шредингером, не использовала матричной алгебры. Шредингер применил совершенно иную математическую форму, которая была разработана для описания классических волновых движений.

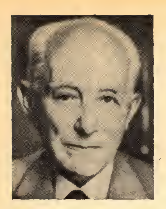
Итак, существовали две * совершенно разные системы (как тогда казалось): одна — волновая механика, другая — корпускулярная механика. Каждая из них была логически последовательной; каждая приводила к результатам, которые находились в полном согласии с экспериментом. Физики были сбиты с толку: которая же из них описывает физическую реальность? В конце концов они выяснили, что оба варианта правильны и что язык одной можно перевести на язык другой. Обе механики были различным выражением одного и того же. К этому мы еще вернемся после краткого обзора событий, которые подведут нас к формулировке волновой механики Шредингера.

В определенном смысле развитие волновой механики происходило параллельно развитию матричной механики. На сей раз блестящая идея пришла к Луи де Бройлю, сыгравшему в истории атомной физики роль, аналогичную роли Гейзенберга. Затем идея де Бройля была подхвачена Шредингером, который отшлифовал ее и довел до уровня строгой теории, подобно тому как это сделали Йордан и Борн с идеей Гейзенберга.

Однако был и разительный контраст в путях развития обеих форм механики. Дерзкий подход Гейзенберга к проблеме расшифровки атомных спектров был эмпирическим. Отказавшись от атомных моделей, отбросив в сторону все предположения, которые не увязывались с «достоверными» данными, он вторгся на неведомую тер-

---

* Строго говоря, существовало три системы. Как будет описано ниже, некто третий предложил корпускулярную механику, подобную механике Гейзенберга и его коллег.





Макс Борн (слева) в 1962 году, спустя много лет после создания квантовой теории, за которую ему в 1954 году была присуждена Нобелевская премия. Луи Виктор де Бройль (справа) — лауреат Нобелевской премии 1929 года в области физики, которая была ему присуждена за открытие волновой природы электрона.

риторию, желая идти туда, куда его влекли факты и только факты. Его подход можно кратко охарактеризовать словами некоего инженера-изобретателя: «Запустите мотор и посмотрите, почему машина не едет».

А Шредингер и де Бройль умышленно не отказались от атомной модели. Как и Макс Планк, они считали, что микромир вполне удовлетворительно объясним с позиции классической физики.

Луи де Бройль рассказывал, что когда он впервые выдвинул идею, которая вела к волновой механике, он еще не осознавал, каковы будут ее последствия. Он писал:

...тот, кто выдвигает фундаментальные идеи новой доктрины, часто на первых порах бывает не в состоянии осознать все последствия. Движимый лишь чувством внутренней интуиции, скованный узами математических аналогий, он становится, почти против собственного желания, на путь, конечная цель которого ему самому неведома.

Этот путь он и выбрал, когда, вернувшись с первой мировой войны, снова продолжил занятия физикой.

Луи де Бройль происходил из древнего и знатного французского рода. Он родился во Франции, на родине же получил образование (во Франции не было принято поступать в университеты других европейских стран) и после получения докторской степени остался там препо-

давать. Даже воинскую повинность он отбывал во Франции, проведя бо́льшую ее часть на Эйфелевой башне, где служил на телефонной станции.

Шел 1923 год, де Бройлю в то время был тридцать один год, когда в процессе подготовки работы на степень доктора философии он выдвинул идею, которая явилась огромным вкладом в науку. Однажды де Бройль прочитал об эксперименте, проведенном американцем Артуром Холли Комптоном. Изучая коротковолновое излучение (рентгеновские лучи), Комптон заметил небольшое, но серьезное противоречие между теорией и экспериментальными данными. Волновая теория гласит, что, когда луч света рассеивается препятствием, длина волны рассеянного излучения должна совпадать с длиной волны падающего луча. Это явление в принципе мало чем отличается от тряски в автомобиле, который движется по ухабистой дороге. Люди, едущие в автомобиле, будут раскачиваться в такт его движениям. Однако, согласно измерениям, проведенным Комптоном, при рассеянии рентгеновских лучей веществом, имеющим небольшую плотность, например парафином, длина волны рассеянного излучения в некоторых случаях возрастает.

Эти результаты нельзя было объяснить классической волновой теорией. Однако Комптон обнаружил, что если применить фотонную теорию Эйнштейна и рассматривать явление рассеяния рентгеновских лучей как результат столкновения фотона с атомом, то можно прекрасно истолковать сделанное им открытие. (За открытие, получившее название «эффект Комптона», ему позднее была присуждена Нобелевская премия.)

За несколько лет до этого Р. А. Милликен объявил о результатах своей весьма тщательно выполненной работы по фотоэлектрическому эффекту; все полученные им данные точно совпали с данными, предсказанными Эйнштейном. Теперь, с открытием Комптоном нового явления, которое было объяснимо только на основе выдвинутой Эйнштейном гипотезы, идея фотонов стала казаться куда менее абсурдной, чем раньше. Физики начали убеждаться в том, что свет обладает свойствами, которые противоречат его волновой интерпретации. И Луи де Бройль, раздумывая над открытием Комптона, задал правильный вопрос: «А не может ли быть, что материя, как и свет, имеет двойственный (дуалистический) характер?»

А если так, то атом водорода является электронной волной, нмеющей строго определениые границы, обусловленные притяженнем ядра; а чнсло форм, которые эта волиа может прнннмать, строго ограннчено. Тогда атом обладает лншь несколькнми вполне определеннымн значеннямн уровней энергнн.

Так Лун де Бройль объяснил поведенне атома иа основе того, что уже было известио физнкам о волнах, на основе атомной моделн.

Вряд лн удивит чнтателя, что де Бройль сразу же столкнулся с трудиостямн, как только он попытался развить свою ндею, еслн вспомннть об ограничениях, накладываемых иа атомные модели, о которых шла речь раньше. Не удивит чнтателя и то, что Эрвнн Шреднигер, отбросив атомиую модель и нспользовав волновую концепцию де Бройля, преуспел там, где Лун де Бройль потерпел неудачу.

Исторически сложилось так, что труды Альберта Эйнштейна явились связующим звеном между работами Шреднигера и де Бройля. Когда француз опубликовал свою докторскую диссертацию, Эйнштейн был одним нз тех иемногих, кому удалось познакомиться с этой работой, в которой корпускулярно-волиовой дуализм, открытый Эйнштейном для случая излучення, был распространеи на вещество. Идеи де Бройля в значительной степени были близки идеям Эйнштейна. Исследования Эйнштейна, в которых свойства газа сравнивались со свойствами излучення, привели его вплотную к открытию, сделанному де Бройлем. Вскоре Эйнштейн опублнковал статью, в которой он обращал внимание научной общественностн на работу де Бройля, он перефразировал ее в убедительиой форме н выдвинул новые аргументы в ее защиту. Как сказал Луи де Бройль: «Научный мир того временн восторженно внимал каждому слову, сказаиному Эйнштейном.... Без его статьн мон тезисы могли бы быть оценеиы значнтельно позже».

Шреднигер, который в то время преподавал в Цюрихском униврерситете, о работе де Бройля узиал именно из статьн Эйнштейна. Вскоре, предложив форму волнового уравнення, он создал общую систему волновой механики. В своей первой статье, которая появилась в начале 1926 года, Шреднигер показал, что спектр атома водорода можно вывести с помощью предложенной им волновой механики. Такое заявление застало физиков врасплох.

Что представляют собой волны, с помощью которых Шредингер столь успешно собирается объяснить поведение атома? Разве может электрон одновременно являться волной и частицей? В поддержку волновой концепции материи не было ни одного экспериментального доказательства. В своей знаменитой работе о фотонах Эйнштейн, выдвигая гипотезу о том, что свет обладает корпускулярными свойствами, ссылался всего на одно экспериментальное доказательство; в защиту же своей идеи о волновой природе материи де Бройль и Шредингер не могли привести никаких экспериментальных фактов. Лишь позже, когда их идея получила свою окончательную теоретическую основу, она была подтверждена экспериментом.

Первое доказательство получил довольно необычным путем один экспериментатор, американец Клинтон Дэвиссон, который ставил перед собой совершенно иную задачу. Ничего не зная о работах де Бройля, Дэвиссон вначале не в состоянии был объяснить результаты некоторых проведенных им экспериментов.

В то самое время, когда Дэвиссон проводил в Нью-Йорке свои опыты, другой экспериментатор из Абердина (Шотландия) работал над той же проблемой. Ни один из них не имел представления о работе другого. Экспериментатор из Шотландии был Джорджем Томсоном — сыном друга Резерфорда Дж. Дж. Томсона. После того как Томсон ознакомился с гипотезой де Бройля, он поставил эксперимент с целью ее проверки. Он точно знал, что искал: согласно де Бройлю длина волны электрона пропорциональна массе и скорости движения. Выведенное де Бройлем уравнение имело вид:

$$\text{Длина волны} = \frac{\text{Постоянная Планка}}{\text{Импульс (т. е. масса} \times \text{скорость)}}.$$

Для проверки данной гипотезы необходимо было пропустить пучок электронов через нечто, способное отклонять (дифрагировать) его с образованием интерференционной картины (если предполагаемые волновые свойства действительно имели место). Из уравнения де Бройля следует, что длина волны электрона, даже когда он движется с относительно небольшой скоростью, будет очень мала — порядка размера атома. Следовательно, и дифракционный прибор должен иметь атомные размеры.

Джордж Томсон использовал тонкие металлические пленки кристаллической формы. Благодаря тому, что атомы в кристаллах выстроены в параллельные ряды, они могут выполнять функцию дифракционной решетки, которую получить искусственным путем необычайно сложно.

Когда Томсон направил через кристаллическую решетку пучок электронов с контролируемой скоростью, движущихся в направлении фотографической пластинки, расположенной на противоположной стороне прибора, то получил упорядоченную картину, которая имела в точности такой же вид, как и интерференционная картина, получаемая в аналогичных условиях при действии коротковолнового рентгеновского излучения. По этой картине Томсон смог вычислить длину электронной волны; она в точности совпала со значением, предсказанным Луи де Бройлем.

Отец Джорджа Томсона впервые определил заряд и массу электрона; теперь его сын измерил длину волны электрона. Однако не он был первым. Несколькими месяцами ранее подобные же результаты были получены Дэвиссоном. В то время он работал в лаборатории, принадлежавшей теперешней «Белл-телефон компани», экспериментируя с пучками медленно движущихся электронов. Целью опытов было изучение рассеяния электронов при ударе о поверхность различных металлов. Эту чисто научную проблему, которую в наши дни назвали бы «фундаментальным исследованием», Дэвиссон избрал самостоятельно. Он был удивительно одаренным экспериментатором, и фирма предоставила ему значительную свободу в действиях, что особенно знаменательно, так как в те дни в исключительно редких случаях соглашались субсидировать исследования, не имеющие практического значения.

Исследования Дэвиссона длилось уже несколько лет, когда в 1925 году произошел счастливый случай. Дэвиссон изучал картину рассеяния, образуемую пучком моноэнергетических электронов, посылаемых к пластинке из никеля, когда вдруг обнаружил, что поверхность никелевого образца окислилась. Для восстановления поверхности образца он стал нагревать пластинку, и она так накалилась, что на поверхности металла образовалось несколько крупных кристаллов. Поэтому, когда эксперимент был продолжен, электронный луч фактически был послан на более укрупненную кристаллическую решет-

ку — на монокристалл никеля. В некотором смысле Дэвиссон провел эксперимент, который позже, совершенно независимо от него и вполне сознательно, был поставлен Томсоном.

Дэвиссон получил очень четкий результат эксперимента, который показался ему неправдоподобным. Он ничего не слышал о выдвинутой де Бройлем гипотезе; он знал, что экспериментирует с ливнем частиц, посылая их через препятствие, при этом они рассеиваются не во всех направлениях, как можно было бы ожидать, а только в нескольких вполне определенных направлениях. Дэвиссон «смотрел в оба и помнил, что вызывающие раздражение постоянные ошибки... порой таят в себе важное открытие». Он серьезно отнесся к полученному результату и попытался сначала на основе одной, а затем другой теории объяснить наблюдаемое. Наконец, от европейских физиков он узнал о существовании гипотезы де Бройля. Усовершенствовав свою методику, он при участии Лестера Джермера провел дополнительные эксперименты и получил результаты, которые находились в блестящем согласии с гипотезой де Бройля.

Не так давно один физик сказал, что даже в наши дни было бы трудно воспроизвести опыты, проведенные Дэвиссоном. «Они были,— как он выразился,— триумфом экспериментального мастерства». Физик, сказавший это, — Джордж Томсон. Он познакомился с Дэвиссоном и с его опытами после 1927 года, когда результаты работы последнего были уже опубликованы. Дэвиссон, рассказывал Томсон, был человеком «удивительного обаяния... индивидуалистом по складу своего характера, который всегда работал с одним или максимум с двумя помощниками и бо́льшую часть работы выполнял своими собственными руками». Он был, добавил Томсон, «полон мягкого юмора, иногда совершенно неожиданного».

Эксперименты Джорджа Томсона и Клинтона Дэвиссона (за которые им была присуждена в 1937 году Нобелевская премия) продемонстрировали волновое свойство электронов; позднее другие эксперименты показали, что протоны, атомы и даже — при определенных условиях — молекулы ведут себя так, как если бы они представляли собой то, что де Бройль назвал «волнами материи», а другие физики — «волнами де Бройля». Но, повторяю, все эти эксперименты были выполнены уже после того,

как теория, объясняющая полученные результаты, была окончательно математически сформулирована, и даже после того, как был понят ее физический смысл. Прежде чем перейти к ним, расскажем о том, как был создан математический аппарат квантовой механики, и о Поле Дираке, имя которого еще не появлялось на страницах этой книги, хотя сделанный им вклад в теорию весьма значителен.

Работа Дирака носила абстрактный характер, и, по его мнению, именно таковой она и должна была быть. Задачу физика-теоретика он считал выполненной, когда выведенные абстрактные выражения подтверждаются фактами. Выяснение значения абстрактных символов, он полагал, скорее являлось философской задачей, которая его не интересовала. «Остерегайтесь мысленно представлять физические модели или вообще придавать формулам наглядность», предостерег он однажды Эрвина Шредингера.

Дирак работал в одиночестве. Хотя он и учился в течение некоторого времени в Институте Бора, однако лишь изредка принимал участие в постоянно проводимых там дискуссиях. В опустевшей аудитории часто можно было видеть Дирака, который, склонившись над столом, казалось бы, ничем не занимался. «Необходимо все хорошенько обдумать»,— ответил он, когда однажды его спросили, что он делает в аудитории. Изредка он что-то записывал, когда мысль была окончательно продумана.

Физики вспоминали, что получаемый Дираком результат, как правило, сразу же оказывался правильным, а решение к тому же удивительно простым и оригинальным. Они с восхищением отзывались о прекрасном слоге Дирака, подразумевая под этим ход его логических рассуждений. Хотя обычно Дирак использовал язык новейшей математики, не обязательно было глубокое понимание его, чтобы уловить всю красоту стиля Дирака, так как она проявлялась не только в его работах по физике, но и в статьях, не относящихся к ней. Это бросалось в глаза даже в обычной беседе с ним. «Никогда не следует начинать предложение,— говорил Дирак,— если не знаешь, как его закончить». В тех исключительно редких случаях, когда он что-либо говорил, он старался выражаться как можно более лаконично. Например, когда однажды на статье, которую Дирак не хотел предавать гласности, ему посоветовали написать: «Воспрещается

публикация в любой форме», на лице его отразилось явное неудовольствие. Оказывается, Дирак возражал против слов «в любой форме», находя их лишними.

Даже слова «да» или «нет» иногда были слишком многословными, по мнению Дирака. Однажды за чаем его спросили, класть ли ему в чашку сахар. «Да», — ответил Дирак и был крайне удивлен последовавшим вопросом: «А сколько кусков?» Он считал такой вопрос совершенно излишним. Ведь каждый кусок сахара имеет определенный размер. Следовательно, кусок сахара является мерой его количества. Если на вопрос, нужен ли ему сахар, он отвечает «да», то это, разумеется, не может означать ничего иного, как один кусок. Присутствовавшие на чае физики пришли в восторг. Они и здесь усмотрели все тот же логический стиль размышлений, который им был уже знаком по статьям, написанным Дираком.



Поль Андриен Морис Дирак в возрасте тридцати одного года. Годом раньше он стал профессором математики Льюкасовской кафедры Кембриджского университета, которую некогда возглавлял Ньютон.

Подобно Шредингеру, Гейзенбергу и его коллегам, но совершенно независимо от них Дирак создавал новую атомную механику. Эту работу он завершил в Англии (на своей родине), когда ему было двадцать три года. Его механика, как и работа Борна и Йордана, возникла на основе идеи, выдвинутой Гейзенбергом, но в отличие от них Дирак сразу нашел ответ на интересующие его вопросы. В системе Гейзенберга квантовые частоты были заменены на такие механические величины, как положение и импульс, величины, которые в классической механике обычно обозначаются буквами p и q. Согласно системе Гейзенберга, произведение p на q не равнялось произведению q на p. В отличие от правил классической механики и обычной арифметики произведение двух сомножителей зависело от порядка их перемножения. Предположим, рассуждал Дирак, принцип Гейзенберга отображает фун-

даментальное различие между классическими законами и законами, управляющими атомом, которые еще не открыты учеными. Тогда, если известна величина разности между произведениями $p \times q$ и $q \times p$ и если эта разность — величина постоянная, должен существовать простой способ преобразования любого уравнения классической механики в соответствующее уравнение, описывающее атом.

Дирак начал подыскивать из известных ему математических приемов те, которые можно было бы использовать в данном случае. Он обнаружил, что искал,— скобки Пуассона — и, применив их к гейзенберговской системе, смог определить точную разность между произведениями $p \times q$ и $q \times p$, установив при этом, что она действительно всегда остается постоянной величиной. Поставленная им цель была достигнута: используя скобки Пуассона, можно преобразовать любое уравнение классической физики в соответствующее уравнение механики. Итак, Дирак, затратив минимум усилий, сформулировал новую механику, которая сохраняла структурную связь со старой.

Разность в значениях $p \times q$ и $q \times p$, о которой шла речь, имеет величину постоянной Планка h. В тех случаях, когда механику Дирака используют для решения макроскопических или многоатомных задач, p и q имеют большие значения. Тогда величина h стремится к нулю, и произведение $p \times q$ можно считать равным произведению $q \times p$, как и в классической механике. Другими словами, вариант квантовой механики, предложенный Дираком, как и другие ее варианты, содержит в себе как частный случай ньютонову механику.

Незадолго до опубликования работы Дирака Борн и Йордан (при участии Гейзенберга, с которым они вели переписку) пришли к той же мысли. В основу их первой статьи были положены элементы матричной алгебры; используя не скобки Пуассона, а другой метод, они вычислили разность произведений $p \times q$ и $q \times p$ и, зная ее, смогли сформулировать свою теорию — матричную квантовую механику. Так Борн вместе со своими коллегами и Дирак почти одновременно пришли к одной и той же идее; вскоре появился третий вариант — волновая механика Шредингера, которую он разработал совершенно независимо от первых двух.

За этим последовал период лихорадочных поисков, в течение которого создатели трех разных теорий совместно с другими физиками-теоретиками (среди них следует

особо отметить Паули, который усовершенствовал свою собствеииую теорию и работы своих коллег) примеиили эти формулировки кваитовой теории к решению различных проблем, продемоистрировав, как язык символов любой из формулировок может быть переведен иа язык остальиых двух. Например, результаты, получеииые при использоваиии перестаиовочиого соотиошеиия Гейзенберга, лежавшего в осиове двух форм корпускуляриой механики, совпадали с результатами, получаемыми при примеиеиии волиового уравиеиия Шредингера. Эти три разиых, ио эквивалеитных вариаита получили известиость под общим иазванием «квантовая механика». Наиболее удобной из трех формулировок физики считают механику Шредиигера. Дирак несколько видоизмеиил ее; использовав коицепции специальиой теории отиосительности, он переписал уравиеиие Шредиигера в слегка измененной форме. Из иового уравиеиия следовало, что электрон обладает так иазываемым спиыом*, хотя Дирак, произведя преобразования, ие ставил это своей целью. Было вполне очевидио, что электрои должеи обладать таким свойством. Из релятивистского волиового уравнения вытекало и иечто другое: электрои и другие элементариые частицы существуют парами: каждый электрои имеет своего близиеца — «аитичастицу», которая обладает тем же самым спииом и массой, но противоположиым зарядом. Благодаря этому выводу формула Дирака вначале не была восприията серьезно, пока ие был открыт положительно заряжеиный электрои (позитрои). Последовали открытия других частиц. Дирак помимо усовершеиствоваииой математической теории вещества предложил также кваитовую теорию излучеиия, которая является составной частью кваитовой механики.

На этом мы заканчиваем краткий очерк истории создания математического аппарата квантовой механики и снова возвращаемся к попыткам выясить ее значение.

Посмотрим, к какому выводу пришли физики, а затем, иакоиец, вериемся к Альберту Эйиштейиу; к событиям, которые произошли после его возвращеиия в Германию; узиаем, как ои отиесся к новой интерпретации квантовой механики.

---

* Термин «спин» имеет смысл в условиях экспернмента, когда электрон может рассматрнваться как частица.

Интерпретация квантовой механики

Мы с вами сходимся во взглядах гораздо больше, чем вы думаете.

Нильс Бор

Нильс Бор, прочитав опубликованиую в одиом из иаучиых журиалов статью австрийского физика Эрвииа Шредиигера, в которой излагалась суть волиовой механики, был немало озадачеи. С помощью диффереициальиого уравиеиия, аиалогичного тем, которые обычио используются для описаиия волиовых движеиий, Шредиигер сумел расшифровать атомиый спектр. Он объясиил дискретиость в зиачеииях уровией эиергии атома, ие вводя ограничеиий в правила квантоваиия и тем самым ие противореча классической физике. Какой же смысл скрывается в волновом уравиеиии? По-видимому, Шредиигер считал, что оно указывает иа имеющиеся в действительности волновые явлеиия, исходя из чего, все противоречия кваитовой теории можио разрешить. Действительио ли Шредиигер был в этом увереи?

На последний вопрос Бор получил вскоре утвердительиый ответ. Физически выиосливый, упориый австрийский физик уже давно стремился найти имеиио такое решение. Его огромиым, страстным желаиием было стремление уничтожить то, что было им одиажды иазваио «грубым диссоиаисом в симфонии классической физики», в которой все фальшивые ноты были обязаиы идее кваита действия. Плаик использовал идею как-то ограничить бескоиечное число решеиий, даваемое при применении законов классической физики, и таким образом объясиить распределение эиергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Бор примеиил это поиятие, чтобы, выделив особые эиергетические состояиия атома

из бесконечного ряда, даваемого классической физикой, объяснить атом. Но предположение, что энергия поглощается (испускается) определенными порциями, хотя и позволяло получить ответ на некоторые вопросы, одновременно поднимало ряд новых: «Что является скрытой причиной энергетических вспышек в излучении черного тела?» «Что их вызывает?» «Почему атом обладает именно такими уровнями энергии, а не другими?» В каждом отдельном случае, когда в физике появляется квант действия, возникали подобные вопросы, вопросы о более глубокой причине, следствием которой являлась дискретность. По-видимому, такие вопросы были своего рода данью, которую приходилось выплачивать для того, чтобы согласовать теорию с наблюдаемыми явлениями.

Ну а если предположить, что выплачиваемая нами дань сама имеет определенный физический смысл? — задумался Шредингер. Ведь в конечном счете законы классической физики позволяют исследовать практически любую область физического мира и ответить на вопросы: «Как это происходит?» «Как это действует?» Ведь можно открыть крышку часов и, изучив взаимодействие крошечных деталей, понять, как они идут.

Даже свет и электричество, которые нельзя полностью описать в рамках классической физики (т. е. в терминах эфира, материального переносчика), подчиняются, тем не менее, общим принципам классической теории, утверждающей, что конфигурация, например, электромагнитного поля может быть полностью предсказана для любого момента времени, если известна картина поля в начальный момент. Классическая физика производит временно́е разделение процесса, выявляя при этом его причинный характер.

Правда, прежде чем применять классические законы для изучения процесса эволюции и следствия какого-нибудь отдельного события, необходимо располагать целым рядом других сведений. Например, чтобы рассчитать траекторию полета пули, необходимо знать ее скорость в момент вылета из дула винтовки и направление ствола винтовки. Если так называемые начальные условия нам известны, то классические законы позволяют проследить шаг за шагом каузальное развитие процесса: из причины вытекает следствие, которое само, в свою очередь, является причиной другого следствия, и т. д. Таким образом, неживую материю можно рассматривать как гигантские

часы или как кинематографическую ленту, движение которых замедляют, чтобы проследить «действие» в любой момент времени по отношению к какому-либо другому действию в предшествующий или последующий момент времени.

Это и являлось той самой симфонией классической физики, которая была нарушена дискретностью в значениях уровней энергии. Процесс, изменяющийся скачкообразно, нельзя понять с точки зрения причинности или, точнее говоря, — с позиций детерминизма. Кванты действия нарушали цепочку из причин и следствий. Они не позволили предсказывать процесс эволюции в атомном мире. Стало совершенно ясно, что необходимо найти какой-то другой способ предсказаний — предсказаний, основанных на вероятностных законах.

Волновая механика и явилась кульминационной точкой в длительных поисках Шредингера иного способа решения проблем, связанных с идеей кванта и тем самым избавляющих физику от фальшивых нот. Хотя правила квантования привели теорию в соответствие с действительностью, Шредингер не был убежден, что это единственный путь описания атома. Быть может, энергия вовсе и не квантована, а просто кажется нам таковой, поскольку ее рассматривали с неприемлемых к ней позиций. Быть может, существует способ, позволяющий рассматривать те же самые факты, но на основе идей, которые восстановят непрерывность атомного мира, и он будет понятен с позиций «старого часового» механизма, с позиций детерминизма? Вот какую цель поставил перед собой Шредингер: «Что касается атомной теории, то я испробовал множество различных вариантов (как мой собственный, так и других ученых) в надежде по меньшей мере восстановить ясность мысли... Идея де Бройля об электронных волнах была первой идеей, которая пролила некоторый свет...».

Шредингеру было около сорока лет, когда, взяв за основу идею де Бройля, он вывел спектр атома водорода без применения правил квантования. Его волновая механика, как и другие варианты квантовой механики, являлась замкнутой системой, т. е. системой, в которой в принципе все физические события на атомном уровне могут быть объяснены строго математически. Оставалось только выяснить, как применить такую квантовую механику к отдельным конкретным случаям; еще многие годы

физики бились над этим. Кроме того, путь от математических формул к предсказанию физической реальности такой долгий и тернистый, что некоторые проблемы совсем не могли быть решены; препятствием к тому является огромное количество необходимых расчетов. Тем не менее все, что по логике вещей казалось в 1926 году очевидным, позднее было подтверждено экспериментально. Хотя фундаментальное волновое уравнение Шредингера было преобразовано Дираком, его значение сохранилось и поныне, а решения хорошо согласуются с действительностью, с тем, что было известно ранее или открыто впоследствии.

Однако Шредингера интересовали не столько применения теории, сколько математическая форма, которую она принимает. Предложенное им дифференциальное уравнение, являющееся основным уравнением волновой механики, в каждом частном случае имеет решение в виде волновой функции $\varphi\ (x, y, z)$, характеризующей возмущение в точке (x, y, z). Уравнения такого вида являются составной частью математического аппарата классической физики. С их помощью можно анализировать такие непрерывные явления, как, например, гармоническое колебание, и предсказывать состояние волны в любой заданный момент времени, исходя из начальных условий.

Шредингер достиг поставленной цели. Не применяя правил квантования, не делая предположений о дискретности, он смог объяснить фактически все атомные явления. Орбитальные переходы, мешавшие провести причинный анализ, были обойдены. Отсюда можно было предположить (так и поступил Шредингер), что материя в основе своей имеет волновой характер, и то, что кажется нам элементарной частицей, на самом деле является просто крошечной областью пространства, в которой волны усиливают друг друга (резонируют).

Вот что заставило задуматься Нильса Бора. Прежде всего некоторые эксперименты можно объяснить только с позиций дискретности величин. Разве, например, интерференция волн вызывает щелчок в счетчике Гейгера или сцинтилляцию на флюоресцирующем экране? Сама символика волновой механики неопровержимо свидетельствует, что волны, которые она описывает, ничего общего не имеют с обычными механическими волновыми колебаниями. Механика Шредингера представляет единичный электрон в виде волнового возмущения в трехмерном

пространстве, но лишь единичный электрон. Два электрона можно представить только в воображаемом шестимерном пространстве; три электрона требуют уже девятимерного пространства и т. д.

Именно поэтому Бор заявил своим копенгагенским друзьям: «Я не понимаю волновой механики» и, надеясь на помощь Шредингера, пригласил его приехать в Копенгаген. Здесь австрийский физик провел несколько семинарских занятий с сотрудниками Института Бора, а затем продолжил объяснение своей теории, но только уже для главы института. Их дискуссии обычно продолжались до глубокой ночи. Занятия с Бором продвигались медленно и требовали большого терпения со стороны Шредингера. Сначала датчанин со свойственной ему застенчивой манерой спокойно задавал Шредингеру элементарный, буквально детский вопрос, который, казалось бы, проистекал от полного незнания физики. На вопрос незамедлительно следовал ясный и красноречивый ответ Шредингера, который, рассуждая, все время двигался по комнате. Хотя, в противоположность Бору, Шредингер предпочитал в основном оперировать математическими символами, тем не менее он мог свободно выражать свои мысли словами. Кстати, он даже писал стихи.

Едва Шредингер заканчивал объяснение (часто весьма многословное), как Бор задавал следующий вопрос, столь же элементарный. Дело в том, что Бор любил рассуждать вслух, выдвигая различные доводы и преднамеренно иногда допуская ошибки. Как сказал один из физиков: это были «поиски истины методом проб и ошибок. У Бора была удивительная способность быстро находить правильный ответ с помощью анализа возможных ошибок».

Такой способ мышления был не совсем чужд Шредингеру; он лишь не разделял привычки Бора размышлять вслух в кругу своих коллег: Шредингер мало общался с другими физиками, в своей работе он обходился без помощников. Однако, как и Бор, он был очень вынослив физически, и оба ученых могли проводить долгие часы за научными спорами. Кабинет постепенно наполнялся дымом от трубки Бора, которая у него постоянно гасла. Говорить и одновременно разжигать трубку невозможно. У Бора не хватало терпения как следует раскурить трубку, он начинал говорить и трубка снова гасла. Тогда Бор зажигал спичку, но тут же забывал о ней. Спичка постепен-

но догорала, казалось, огонь вот-вот коснется пальцев (собеседннк Бора как зачарованный следнл за догорающей спнчкой), но Бор спохватывался н вовремя отбрасывал спнчку в сторону. Постепенно возле его стула накапливалась куча обгоревших спнчек. В конце концов Бор прнсажнвался на корточки и подбнрал нх.



Эрвин Шредингер в период пребывания в Копенгагене.

Шло время. Бор постепенно начал овладевать методами волновой механнкн; задаваемые им вопросы становились все более н более сложнымн. И наконец, онн затронули основную тему, которая была блнзка сердцу австрнйца. Действнтельно лн его волновая теорня возрождает к жизни ндею непрерывностн? Действнтельно ли больше не нужна ндея кванта? Ведь она применнма к особым случаям. Впервые понятие кванта ввел Макс Планк, желая вывестн формулу, которая соответствовала бы наблюдаемым явлениям; он предположнл, что раскаленные твердые тела нзлучают импульсамн, скачкамн.

Как же теперь, спроснл Бор, не нспользуя ндею квантовых переходов, Шредннгер сможет объясннть излученне абсолютно черного тела? Австрнйскнй ученый попытался это сделать. С помощью математнческого аппарата волновой механнкн он вывел формулу нзлучення черного тела, которая, как н формула Планка, хорошо согласовывалась с даннымн наблюденнй. Однако это не решало проблему: даже в самом языке волновой механнкн, тем не менее, сохраннлся термнн квантового перехода, что было особенно заметно в частном случае, на котором остановнлся Бор. Из волновой интерпретацни атома по Шреднягеру не вытекало существованне кванта действня, но, как показывал точный математнческнй аналнз уравнення, квантование подразумевалось. Электронные переходы с одного энергетнческого уровня на другой являлнсь событнямн, которые не моглн быть в дальнейшем проаналнзнрованы. Рассматривался лн электрон в внде движущейся по орбнте частнцы нлн как колебання волны, днскретность продолжала оставаться. Теорня Шрединге-

ра лишь заглушала фальшивые ноты, но не избавляла от них.

К тому времени Шредингер совершенно пал духом. «Если б я знал, — заявил он мрачно, — что мы не избавимся от проклятого квантового перехода, никогда бы не впутался в это дело».

На что Бор ответил: « *Вы* можете сожалеть, но все, кто учится по вашей работе, счастливы, что она существует».

Бор доказал, что интерпретация Шредингера волновой механики неправильна. Его доказательство было усилено Максом Борном, который убедительно показал, что элементарные частицы не могут возникать вследствие интерференции волн, как предполагал Шредингер. Пси-волну в ее нереальном пространстве нельзя рассматривать как описание реального волнового движения. А то, что ее нельзя идентифицировать как волну материи (или волну де Бройля), было впервые продемонстрировано Дэвиссоном и Джермером.

Хотя Шредингер и не достиг того, к чему стремился, он не терял надежды. Он остался верен убеждению, что когда-нибудь физика сможет отказаться от идеи кванта и детерминизм восторжествует. Он всегда был готов заявить Бору, Борну и другим физикам: «Пусть я не в состоянии сейчас ответить на ваши вопросы, однако уверен, что ответ на них со временем будет найден». Он был убежден в том, что «хотя нам и кажется, что мы с помощью приборов идентифицируем частицу, однако это может быть следствием какого-либо взаимодействия между волной и регистрирующим прибором, которое нам пока неизвестно».

Другой великий физик Макс Планк полностью разделял точку зрения Шредингера. Когда уже в преклонном возрасте Планк ушел из Берлинского университета, то рекомендовал Шредингера в качестве своего преемника. Вскоре после поездки в Копенгаген Шредингер переехал в Берлин, где Планк произнес в его честь речь, в которой заявил, что приветствует в лице Шредингера человека, который вновь восстановил в физике идею детерминизма, тем самым покончив с кризисом, причиной которого явилась его, Планка, квантовая теория.

А тем временем в Копенгагене были выдвинуты идеи, которые впоследствии поставили под сомнение сами осно-

вы теории Шредингера. Продолжительные дебаты, от которых австриец только уставал и которые портили ему настроение, оказывали совершенно противоположное действие на Бора. Он буквально расцветал во время долгих споров, которые остальных копенгагенских физиков приводили в состояние «полного изнеможения». Наконец-то Бор почувствовал, что начинает понимать связь между абстрактной математической логикой и физической реальностью.

Бор считал, что атом и его составляющие не являются ни частицами, рассматриваемыми старой классической механикой, ни волнами новой волновой механики. Как символы p и q, так и функцию ψ (x, y, z) нельзя понимать в буквальном смысле. Однако их не следует воспринимать и как бессмысленные абстрактные выражения; символы, которые появились в новой квантовой механике, и логическая связь между ними должны каким-то образом соответствовать реальному положению вещей. Бор считал, что он нашел способ понять, что скрывается за этими абстракциями. Квантовая механика Дирака, а также и механика Гейзенберга и его коллег копировали ньютонову механику, а в основе последней лежала корпускулярная картина. Она должна иметь под собой реальную почву, хотя и в определенных границах. То же самое можно сказать и о волновой картине, лежащей в основе математического выражения Шредингера. Несомненно, что волновая картина позволит понять поведение электрона внутри атома.

Бор считал, что все станет совершенно ясным, если сопоставить эти две картины. Много лет назад он был поражен противоречиями, скрытыми в атоме, и в своей знаменитой работе сознательно подчеркнул их. Теперь он собирался сделать то же самое, сравнивая логичную и точную корпускулярную форму квантовой механики со столь же точной волновой формой, которые, по всей видимости, противоречили друг другу. Бор по натуре своей был оптимистом. Хотя, на первый взгляд, точка зрения Шредингера и его собственная коренным образом отличались друг от друга, это объяснялось лишь тем, что какая-то доля истины еще оставалась невыясненной. «Мы сходимся во взглядах гораздо больше, чем вы думаете», — заявил он Шредингеру, и тут же опроверг выдвинутый Шредингером аргумент (что, по-видимому, доставило последнему мало удовольствия). После отъезда австрий-



Нильс Бор на одной из своих продолжительных прогулок, во время которых он дискутировал о проблемах физики. В данном случае Бор вместе со своим компаньоном — молодым итальянцем Энрико Ферми, который также очень любил прогулки пешком, идет по Аппийской дороге в окрестностях Рима (1931 год).

ского ученого Бор с головой ушел в работу, пытаясь выяснить смысл, скрытый в символах, так как чувствовал, что смысл этот существует, хотя и не мог сразу понять и объяснить, в чем он заключается.

Одновременно над этой же проблемой размышлял и Вернер Гейзенберг, который взял отпуск и приехал в Копенгаген из Геттингена. Он принимал активное участие в дискуссиях между Бором и Шредингером. Он был полностью солидарен с Бором в том, что волновая механика не смогла освободиться от идеи дискретности, которая делала невозможным точное предсказание, однако не разделял уверенности Бора, что волновая картина атома также содержат элементы истины. В то время еще не были проведены эксперименты, которые доказали бы су-

ществование волн материи и таким образом подтвердили бы точку зрения Бора. Гейзенберг был твердо убежден, что волновая механика представляет собой просто математический трюк, который не имеет под собой никакой реальной основы. Как и Бор, он считал, что элементарные частицы являются абстрактными понятиями, не поддающимися классификации, разработанной на основе повседневного человеческого опыта. Для того чтобы выяснить смысл этих абстракций, необходимо всячески избегать предположений, которые нельзя проверить экспериментально, и стараться как можно больше доверять явлениям, поддающимся наблюдению. Следует изучать систему символики, которая построена на достоверных данных и которая, несомненно, каким-либо образом поможет описать атом, т. е. изучать его собственную матричную механику.

Он пытался убедить в этом Бора, однако датчанин, в свою очередь, был уверен, что единственным путем раскрытия истины является его собственный план. Поэтому в споре с Гейзенбергом Бор упорно отстаивал свои позиции, одновременно отшлифовывая в споре аргументы. (Коллеги Бора часто подшучивали над его привычкой по-





Слева: Вернер Гейзенберг (слева) во время лыжной прогулки по Баварским Альпам в 1931 году, за год до того, как ему была присуждена Нобелевская премия, и Феликс Блох, также сотрудник Института Бора и лауреат Нобелевской премии. Справа: Человек в защитных очках, который сидит на камне,— Нильс Бор, стоит — Гейзенберг.

давлять собеседника своим многословием, которое было полезно для него самого, но очень утомительно для других, у которых также было что сказать. Как-то один из коллег Бора даже нарисовал карикатуру, на которой был изображен Бор и еще один физик, также любящий поговорить. Этот физик был привязан к стулу; во рту торчал кляп. «Позвольте, позвольте, — говорил Бор своей жертве, — разрешите и мне вставить хоть слово».) Однако Гейзенберг, подобно каждому, кто хорошо знал Бора, без всяких колебаний прерывал его и, не дав опомниться, стойко защищал свои позиции. Разгорался спор. Взгляды обоих хотя и расходились, но не были *настолько* различными, как, например, взгляды Бора и Шредингера. То был горячий спор между членами одной семьи.

Ни один из них так и не мог убедить другого, что, однако, не мешало их совместной работе. Они стремились к одной основной цели: узнать с помощью математики, что же представляет собой атом. Для этого необходимо было проанализировать огромное количество различных экспериментальных данных, применяя то один, то другой математический прием. Так, например, они должны были изучать, с помощью новых вариантов механики, можно ли описать электрон, проходящий через ионизационную камеру. Путем разработки таких проблем и поисков математических форм их описания ими были исследованы различные варианты интерпретации квантовой теории. Каждый может использовать этот общий прием в своих исследованиях, отличающихся как примененным методом, так и положенной в его основу концепцией. Итак, Бор медленно, но верно продвигался к поставленной цели, снова и снова повторяя одно и то же, возвращаясь назад, чтобы быть полностью уверенным, что ничего не было упущено и все проанализировано с различных точек зрения. Гейзенберг, напротив, продвигался вперед рывками, которые часто — но не всегда — подводили его ближе к цели.

В течение осени 1926 года оба физика встречались почти ежедневно и дискутировали без конца. Даже во время еды споры не прекращались, и если к ним за столик в институтском буфете подсаживался еще один физик, то и он вскоре начинал принимать живейшее участие в дискуссии. Бо́льшую часть времени физики проводили в закрытом помещении, так как им требовалась грифельная доска, однако они не любили слишком долго засиживать-

ся на одном месте. Работа не прекращалась во время прогулок в парке, расположенном за институтским зданием, или даже когда они ездили верхом на лошадях. Часто они развлекались в парке Тиволи, пока тот не закрывали на зимний сезон; особой популярностью у них пользовался стенд, где бросали мяч в цель. Бор и Шредингер любили устраивать между собой соревнование: кто выбьет большее количество очков.

Сотрудничество, начавшееся в сентябре, продолжалось вплоть до февраля следующего года. Дела продвигались медленно: постепенно приходилось отказываться от одного метода за другим. Фактически каждый раз, когда они задавали природе вопрос, они получали бессмысленный ответ. И все потому, что вопрос задавался не на том языке, который был нужен. Другого же языка они не знали. Как физики, они владели богатым словарным запасом научных терминов, предназначенных для описания процессов, происходящих в природе; однако их слова не достигали цели вследствие коренного различия рассматриваемых процессов. Физический процесс можно проанализировать в терминах либо движущихся частиц, либо распространяющихся волн; физическая научная терминология относится либо к тому, либо к другому случаю. Более того, сам язык подразумевает, что между рассматриваемыми случаями всегда имеется различие. За словами стоит логическое предположение, которое можно сформулировать двояким образом:

Это частица
Это не частица

Одно из двух высказываний должно быть истинно, точно так же как ложно одно из двух следующих высказываний:

Это стол
Это не стол

Таково положение вещей, иначе задавать вопрос *невозможно,* даже принимая во внимание, что электрон обладает свойствами как волны, так и корпускулы. Следовательно, «фактически» электрон является либо тем, либо другим. Прежде чем добиться успеха, Гейзенберг и Бор должны были не только перестать доверять терминам, но даже своей собственной интуиции — «здравому смыслу». Гейзенберг так описал свои переживания в те дни:

Вспоминаю свои дискуссии с Бором, которые длились по многу часов подряд до глубокой ночи и к концу которых мы всегда приходили в отчаяние; потом я один отправлялся прогуляться в соседний парк, но снова и снова продолжал задавать себе все один и тот же вопрос: неужели природа может быть настолько нелепой, какой она нам представляется по данным атомных экспериментов?

Физику называли «игрой, в которой ученые задают природе вопросы в надежде получить ответ». Но природа — партнер физика в игре — невозмутимо хранит молчание и редко снисходит до ответа. Когда многочисленные попытки терпят неудачу, когда, несмотря на заданные умнейшие вопросы, партнер все же остается безмолвным, физик — искатель истины — начинает терять надежду хоть когда-нибудь выиграть в этой игре и, бывает, с трудом заставляет себя продолжать игру. («Безусловно, мне не везет, — сказал Паули. — Я не понимаю».) Поэтому особенно бросается в глаза оптимизм Резерфорда или Бора.

Однако зимой 1927 года даже Бор начал утрачивать обычную для него жизнерадостность. Уже много месяцев он беспрестанно трудился все над той же проблемой; даже по ночам, во сне, мозг не отдыхал. Он был измучен; ему стало трудно сосредоточиваться. Сейчас его раздражала малейшая попытка со стороны кого-либо нарушить ход его мыслей, раньше он на это не обращал никакого внимания. Кроме того, он понимал, что каким бы ценным для него ни являлось совместное сотрудничество с Гейзенбергом, оно слишком затянулось. Он устал от ожесточенных споров с молодым ученым, он жаждал покоя.

В феврале Бор решил взять отпуск и поехать в Норвегию покататься на лыжах. Но и в горах Норвегии, как и в Копенгагене, его мысли были сосредоточены все на той же проблеме. Впитав в себя всю информацию, полученную при совместной работе с Гейзенбергом, Бор продолжал мысленно беседовать с природой о противоречиях волновой и корпускулярной картин строения атома. Через несколько недель он возвратился в Копенгаген загоревшим, посвежевшим, гораздо дальше продвинувшись к цели, которую они вдвоем с Гейзенбергом так долго преследовали.

Тем временем Гейзенберг, неотступно следуя *собственному*, первоначально намеченному плану и проанализировав результаты своего сотрудничества с Бором, также существенно продвинулся вперед. Приветствуя Бора, он

преподнес ему несколько идей, которые перед тем заблаговременно постарался представить на суд Паули. Мнение Паули было следующим: «Это заря квантовой теории».

Гейзенберг открыл фундаментальный принцип квантовой механики, основу, из которой логически вытекало все остальное. Этот принцип (называемый также законом) имеет вид математического соотношения между некоторыми определениями, используемыми в физике. Он носит название «принцип неопределенности». Совершенно иным был вклад, внесенный Бором. Прежде всего он рассматривал только то, что имело физический смысл, а следовательно, использовал научный язык и логику. Содержанием его работы, которую он завершил после возвращения в Копенгаген и ознакомления с принципом неопределенности Гейзенберга, явилась интерпретация на основе этого принципа других математических выражений квантовой механики.

Так как в основу интерпретации Бора положен принцип неопределенности Гейзенберга, остановимся сначала на нем. Поиски Гейзенберга достигли переломного момента, когда он в конце концов смог задать природе правильный вопрос. До этого все его мысли были сосредоточены на проблеме: как выразить в матричной форме величины, наблюдаемые в эксперименте? Но однажды ему пришла в голову мысль задать вопрос иначе: а что если логике матричной символики удовлетворяют только наблюдаемые величины, т. е. те, которые могут быть измерены экспериментально? Правило перемножения говорит, что порядок перемножения p и q определяет величину произведения. Предположим, что для случая, где они выражают положение частицы в пространстве и ее импульс, принимают во внимание «порядок их перемножения», подразумевая под этим «очередность, в которой величины были определены в эксперименте». Последнее, по-видимому, должно означать, что если в данной экспериментальной ситуации точно определено положение частицы, вторую величину — импульс — нельзя измерить точно.

Приняв это за гипотезу, Гейзенберг заново пересмотрел данные экспериментов, где измерялись p и q. Изучая эксперимент за экспериментом, случай за случаем, он убедился, что его гипотеза правильна. Из экспериментальных данных он смог вычислить некоторую минимальную величину, которая всегда оказывалась одной и той

же — постоянной. Эта величина выражает собой неизбежную неопределенность в условиях измерения p и q. Она оказалась той самой постоянной, которая была впервые открыта Максом Планком. Теперь, как мы увидим, она приобрела новый смысл.

Проанализировав колоссальное количество различных экспериментов, Гейзенберг выдвинул принцип, который утверждает, что результатом любого измерения координаты и импульса, любого измерения энергии в определенный момент времени является неопределенность, которая всегда не меньше постоянной Планка, или

$$\Delta q \times \Delta p \geqslant 6{,}6 \cdot 10^{-27}.$$

Согласно принципу неопределенности, p и q не являются независимыми величинами: чем с большей точностью определяется одна из них, тем меньше точность определения второй; если же одна из них совсем неизвестна, вторая может быть определена точно. Они, как сказал Гейзенберг, «подобны фигуркам мужчины и женщины в старинном барометре. Если появляется одна фигурка, вторая исчезает».

Открытый Гейзенбергом принцип выявляет фундаментальное различие классической и квантовой физики. Законы классической физики позволяют предсказать положение материального тела в последующий период времени тогда и только тогда, когда можно получить некоторые исходные данные: положение и импульс тела в предыдущий момент времени (примером служит определение траектории полета пули, рассмотренное ранее). В случае волны необходимо знать ее энергию (которая зависит от частоты колебания) в определенный момент времени. Только располагая точными значениями этих величин, можно проанализировать строгую причинную эволюцию волнового движения. Принцип же Гейзенберга отрицает возможность получения такой начальной информации, утверждая, что q и p могут быть определены раздельно лишь с точностью h и что нельзя устранить эту неопределенность, так как она никогда не бывает меньше h.

В таком случае законы классической физики имеют силу только тогда, когда величины, которые обозначены символами p и q, намного больше h и влиянием h можно пренебречь. Однако в микромире постоянная Планка играет значительную роль, и дискретность, которую она

представляет, исключает точное предсказание в его классическом понимании. Вообще говоря, будущее может быть предсказано, но не прежним способом, а на основе статистических законов. Именно по такому пути шла физика, чтобы объяснить микромир, и Гейзенберг объяснил, почему. Поль Дирак, Макс Борн и его коллеги рассматривали гейзенберговское правило перемножения *p* и *q* как суть его матричной системы, что позволило им создать общую систему квантовой механики. Знай они принцип неопределенности, все, что они сделали, могло бы быть сделано гораздо раньше.

Но в чем же смысл принципа неопределенности? Почему *p* и *q* не поддаются одновременному определению? В чем состоит значение квантовой постоянной, впервые введенной Максом Планком? И не означает ли этот закон, что научное познание имеет свои границы? Не наткнется ли в конце концов ученый в своих попытках более глубоко изучить природу на непреодолимый барьер? Принцип неопределенности Гейзенберга может быть истолкован так, что ограничение в причинном анализе является преградой для экспериментального изучения квантовой области. Вероятностные законы окажутся бесполезными, если ученый не сможет получать достоверной информации из своих экспериментов. Сцинтилляции на флюоресцирующем экране, потрескивание в счетчике Гейгера должны быть связаны с определенным причинным агентом. Однако, согласно принципу Гейзенберга, те величины, которые нам необходимы для выявления этой причины, не поддаются точному измерению. Посмотрим, как Нильс Бор нашел способ обойти преграду и вывел атомную физику на дорогу, по которой она движется и поныне.

Когда мы экспериментируем, говорил Бор, мы занимаемся тем, что задаем вопросы. В основе приборов и инструментов, которые мы изобретаем, в основе научных терминов, которые мы придумываем для достижения поставленной цели, всегда лежит вопрос. Так, понятия, которыми мы обычно пользуемся в физике, отражают вопросы, которые мы задаем, ибо такие понятия, как «положение», «скорость», «частота» и т. п., являются величинами, которые мы сводим к *p* и *q* и которые мы должны измерить, чтобы узнать, *как протекает* наблюдаемое событие, что заставляет его происходить именно так, а не иначе.

Когда задают вопрос, то предполагают, что существует возможность разграничить изучаемый объект или процесс и все остальное, что имело к нему отношение в процессе измерения. В этом суть физического метода, и такой метод раньше был весьма плодотворным. Поэтому физики легко привыкли к мысли, что научная терминология, сопровождающая метод, применима к любой области физики, что такое понятие, как «положение», всегда существует независимо от того, встречается ли оно в данной ситуации или нет; что можно рассматривать нашу систему понятий как непогрешимую, как точный слепок с физического мира, как фотографический снимок объекта или самого изучаемого процесса.

Но теперь, когда наши исследования природы стали гораздо более детальными, наша измерительная техника — более совершенной, мы вторглись в квантовую область, где столкнулись с ограничениями. В любом эксперименте всегда бывает необходим измерительный прибор, который в какой-то степени оказывает воздействие на изучаемый объект. Независимо от того, используется ли в нашем приборе вещество или световая энергия, он должен установить определенного вида контакт с измеряемым объектом, чтобы донести до нас информацию. Если этого не происходит, мы ничего не узнаем. Но в квантовой области даже самое небольшое возмущение, возникающее в процессе измерения, существенно искажает получаемый результат. Мы уже понимаем, что свет, который используют при фотографировании, воздействует не только на пленку, но и на сам снимок. Мы глубоко ошибаемся, считая, что измеряем точные величины или сам процесс. Строго говоря, мы этого никогда не в состоянии сделать. Вследствие малости постоянной Планка мы раньше считали, что искажения, вносимые нами при измерении, всегда контролируемы, что мы в состоянии разграничить изучаемый объект от возмущения, вызываемого прибором. Сейчас мы уже знаем, что эта идея не выдержала решающего испытания; мы обнаружили, что возмущение, производимое нами при экспериментальном вмешательстве, является неотделимой частью системы, которую мы наблюдаем. Физические понятия p и q не описывают системы, существующей независимо от возмущений, вносимых при ее наблюдении.

Итак, мы подошли к проблеме, которая является основой основ квантовой физики. Как будет дальше разви-

ваться познание микромира и что скрыто в нем? Какие ответы на вопросы мы получим? Ведь, желая что-либо познать, мы вынуждены полагаться на эксперимент, а это означает, что мы должны уметь увязывать наблюдаемый эффект с причиной. Данные наших измерений — это то, что нам известно; на их основе мы строим науку. Мы зависим от той самой причинной связи, которую отрицает закон Гейзенберга.

Однако принцип неопределенности, провозглашающий индетерминизм, одновременно возвещает и нечто другое: он указывает нам дальнейший путь к познанию. Он заявляет, что величины, которые необходимы нам для установления причинной связи, — неадекватные понятия p и q — взаимно исключают друг друга. При высокой степени точности определения одной величины другая вообще не проявляет себя. Таким образом, можно установить жизненно важную причинную связь, если никогда не забывать об этом законе, работая с неадекватными понятиями. По одной схеме эксперимента точно определяется то, что принято называть «положением», по другой — то, что называют «импульсом». Так на практике мы применяем наши старые понятия, но понимаем их уже иначе. Понятие «положение» больше не будет увязываться с чем-то, что сохраняет это свойство даже тогда, когда оно не наблюдается. То же самое можно сказать о «частоте» и о других понятиях, относящихся к частицам и волнам, которые в прошлом были нами придуманы. Теперь под этими словами подразумевают «аспект», который проявляется только при определенных известных экспериментальных условиях, которые мы сами создаем.

Таким образом, можно продолжать задавать природе вопросы, но уже с более глубоким знанием дела. В какой-то степени вопрос, касающийся квантовой области, будет определять и содержание ответа. Мы должны становиться либо по одну, либо по другую сторону двери, и от того, где мы стоим, по-видимому, зависит, что нам удастся увидеть. Наше понимание зависимости между экспериментальным методом и тем аспектом квантовой области, который этот метод позволяет изучить, означает, что мы, как и прежде, можем продолжать использовать атомные модели, иллюстративное представление величин p и q. Если прежде мы рассматривали такие модели как фотографические снимки самой системы, то теперь они превратились в альтернативные понятия, зависящие

от точки зрения экспериментатора. В том случае, если для объяснения эксперимента необходима одна картина, другая вообще может не использоваться. Это справедливо для волновой модели, которая логично и превосходно объясняет переход количества в качество в микромире, объясняет, почему мы встречаемся с существованием определенных форм материи, почему они взаимодействуют именно таким образом, а не иначе. Ибо сами квантованные состояния энергии, которые не поддаются более глубокому анализу в любом отдельном эксперименте, объясняют стабильность и форму того, что мы непосредственно наблюдаем вокруг. Теперь мы можем начать задавать вопросы «почему».

Корпускулярную модель, которая описывает электрон как материальную частицу, также можно применять в различных экспериментальных условиях. Обе наши модели не противоречат друг другу, как кажется на первый взгляд, потому что одна модель дополняет то, чего недостает другой. Они дополняют друг друга, вместе они выражают единое целое.

Именно с таких позиций Нильс Бор определил постоянную Планка как численное выражение необходимой неопределенности, которая проявляется, когда измерения проводятся на атомном уровне; измерения, в которых используются понятия, не вполне соответствующие действительности, но которые тем не менее должны проводиться. Итак, в любой отдельной экспериментальной ситуации квантовая неопределенность мешает физику узнать все об изучаемом объекте, но не свидетельствует о невозможности понимания квантовых процессов. Понимание достигается благодаря дополнительному соотношению между квантовыми величинами, введенному Гейзенбергом. Это соотношение в интерпретации Бора, известное как «принцип дополнительности», выражает собой идею использования взаимоисключающих концепций квантового принципа для достижения максимально возможного понимания.

В математической структуре квантовой механики — точнейшего инструмента атомной физики — Бор усмотрел возможность применить законы старой классической физики как для объяснения явлений, происходящих в квантовой области, так и для объяснения обычных для нас явлений. Понятия p и q старой механики были представлены в новом математическом виде с помощью правил

перемножения матриц. Прежнему волновому уравнению был придан такой вид, что оно смогло описывать движение в математическом пространстве, имеющем более трех измерений. С помощью таких специальных приемов были преодолены препятствия, обусловленные прежним пониманием физического мира, и узкие логические рамки расширены настолько, что они теперь могли включать в себя то, что ранее казалось несовместимым.

В старой механике считалось само собой разумеющимся, что между объектом наблюдения и прибором, используемым для его наблюдения, существует резкая граница. В новой механике, которая вобрала в себя все из старой механики и сделала по сравнению с ней огромный шаг вперед, подчеркивается зависимость между объектом и методом, используемым для его изучения. Таким образом, решения квантового уравнения по необходимости являются многозначными. Они описывают большое число различных возможностей, причем некоторые из них более вероятны, чем другие, что зависит от конкретных условий, в которых проводится данный эксперимент. Например, волновое уравнение Шредингера описывает поведение не единичной субатомной частицы, такой, как электрон, а большого числа электронов при одних и тех же условиях. С помощью этого уравнения можно рассчитать лишь вероятность таких величин, как «координата» или «длина волны» в каждом данном эксперименте.

Во всех вариантах квантовой механики статистический метод был введен непосредственно в символику. Прежде всего были предложены такие понятия, как «усреднение» и «вероятность»: они заменили собой «определенность» событий обычного масштаба. Вероятностная форма описания позволила более глубоко отобразить физическую реальность.

Бóльшая гармония, в которой старое проявляется в новом, гармония без противоречий, — такова сущность интерпретации Бора квантовой механики. То было решение, о котором он долго мечтал, так же как мечтал Альберт Эйнштейн об открытии классического идеала строения Вселенной, и на научной основе, по-видимому, достиг этого, по меньшей мере частично. (В следующей главе мы увидим, как Эйнштейн «нашел» даже больше, чем «классический идеал».) Однако Бор не считал, что решение квантовых проблем или, вернее, решение тех,

которые он интерпретировал, отображает собой логическую схему, которая существует независимо от человека. Наука, включая и математику, полагал Бор, помогает человеку познать действительность и является его творением. Мы вскоре коснемся различия во взглядах Бора и Эйнштейна и дискуссии, которая разгорелась между ними по этому поводу.

После того как Нильс Бор вернулся в Копенгаген с лыжной прогулки по Норвегии, он снова продолжал свою работу вместе с Гейзенбергом. Оба ученых еще более горячо дискутировали друг с другом, устраняя различные несообразности в их теории, снова и снова анализировали данные многочисленных экспериментов (часто при помощи Паули) и в конце концов придали своей теории более или менее окончательный вид. Эту теорию, которая получила название «копенгагенской интерпретации квантовой механики» и которую в главе девятой Ньюкоум объяснял Олдфилду, отстаивал Бор в дискуссии с Альбертом Эйнштейном.

Их встреча произошла в 1927 году на Сольвеевском конгрессе в Брюсселе. Бор был приглашен для того, чтобы познакомить физиков с новой копенгагенской интерпретацией. Конгресс проводился каждые три года, и на него съезжались ученые, чтобы обсудить последние достижения в физике и, само собой разумеется, поспорить о них.

В течение многих недель Бор отшлифовывал свой доклад, с которым должен был выступить на конгрессе. Он снова и снова старался как можно лучше выразить свои мысли, рассматривая их с различных позиций. Он был уверен в справедливости своих выводов, особенно если учитывать способ, с помощью которого они были сделаны. В докладе он попытался отобразить этот многосторонний подход, борясь с тем, что он называл «неумением излагать свои мысли в письменной форме», с чем ему пришлось столкнуться еще в 1913 году и что всегда было для него камнем преткновения. Едва он заканчивал предложение, как тут же замечал, что оно не удовлетворяет его требованиям, и начинал его править, стараясь вложить в одно предложение различные точки зрения, а также все, что их связывало и отличало. Он считал, что хотя изложенная в предложении мысль получалась не слишком ясной, но тем не менее гибкой и полной глубоко-

го смысла. Конечно, мысль можно выразить четко, полагал он, но тогда обязательно она окажется в какой-то степени выхолощенной.

Часто проходили недели, месяцы и даже годы, а борьба Бора со стилистикой все еще продолжалась. «Как, по-вашему, лучше выразить эту мысль?»,— любил он спрашивать друзей и членов семьи. Постепенно лист бумаги с первоначальным текстом испещрялся вставками и зачеркнутыми местами, пока прочитать его становилось почти невозможно. Бывало, вся статья отправлялась в корзину для бумаги, если Бору приходила на ум идея выразить свои мысли иначе — часто в результате бессонных ночей и приступа самокритики.

«Работай, заканчивай, публикуй», — убеждал самого себя Бор словами Майкла Фарадея. Когда, наконец, написанная статья передавалась секретарю для перепечатки, коллеги вздыхали с облегчением. Однако он мог забрать рукопись и со столика машинистки, чтобы снова внести в нее исправления. Новый вариант перепечатывался и отправлялся в издательство. Приходила корректура. Бор хватал ее и начинал править, внося иногда значительные изменения. Снова и снова он взывал к Паули, к его удивительному критическому чутью, умоляя приехать, пока однажды Паули в конце концов не ответил: «Если последняя корректура уже отправлена в издательство, я приеду». (Это случилось, когда Бор обратился за помощью и к Дираку, на что последний ответил, что не в его привычке начинать предложение, не зная, как его закончить.)

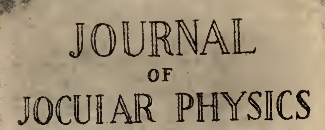
Время от времени, когда неоднократные попытки не приводили к удовлетворительному результату, Бор решал на время уехать куда-нибудь, где мог бы поработать без помех, как однажды и сделал, отправившись в Норвегию. Вместе с помощником (физиком, который вел записи, а также дискутировал с ним) он обычно выбирался на какой-нибудь курорт во время мертвого сезона или в в другие тихие, как он полагал, места. Один из его ассистентов, Леон Розенфельд, описал эти поиски покоя, эти дни, проведенные в уединенной английской гостинице, стоящей в стороне от проезжих дорог, где им приходилось вести «постоянную войну нервов с одной вспыльчивой школьной учительницей за монопольное право пользования гостиной»; дни, проведенные в Италии, когда однажды собака, сопровождающая их в длительной прогулке,

иапала иа стадо, что вызвало глубокое возмущение местных жителей. Особеино памятиый случай произошел в Бельгии, когда они поселились, ие ведая того, в игорном притоне и потом любили наблюдать за одним молодым человеком, который занимался, по-видимому, привычиым для иего делом, записывая колонки цифр и лихорадочио стирая получаемый результат, очевидно, в поисках определенной «системы». Они впервые, как заметил Розенфельд, видели «иастоящего игрока» и иачали иакоиец поиимать, почему хозяин гостииицы встретил их так подозрительио, заявив тотчас же: «Плата вперед».

Рассказы об этих приключениях передавались студентами Иистнтута Бора из поколеиия в поколение и стаиовились неотъемлемой частью зиаиий, приобретаемых ими в иистнтуте. Когда Бор отмечал свои юбилейные даты, такие, как, иапример, пятидесятилетие, ему вручался особый подарок — рукописиый сборник статей и стихов, иаписаиных в его честь студеитами, как бывшими, так и настоящими. К числу таких подарков принадлежал и рукописный сборник под названием «Журиал шутливой физики» — отнюдь ие серьезный иаучный труд, ибо, как это следовало из предисловия, Бор может почувствовать себя обязанным весь этот сбориик прочесть и «даже попытаться что-либо понять». А посему, решили авторы, иеразумио задавать ему «столь трудную задачу». Итак, журнал был посвящеи исключительно юмористической стороне жизии физиков и, в частности, подшучиванию иад самим Бором. Ои мог обнаружить там пародию иа свой литературный стиль; увидеть карикатуру, где он был изображен в виде собаки, а также прочесть о муках творчества, которые он неоднократно испытывал вместе с Розенфельдом, закаичивая статью.

Все это практически являлось данью восхищеиия Нильсом Бором и было написаио в присущем ему самому юмористическом духе, так как Бор был способен увидеть смешные стороны даже в том, к чему ои отиосился очень серьезно.

Самыми близкими Бору людьми были те, кто более всего ценил его не за его статьи и лекции, а за иеофициальные беседы, в которых талант его раскрывался иаиболее ярко. Ои далеко ие всегда бывал одержим идеями, как может показаться нашему читателю. Он был одним из тех педагогов, кто предпочитает обучать скорее в частиых беседах, нежели путем официального чтеиия



Niels Bohr Celebration Number
October 7, 1935





INSTITUTE OF THEORETICAL PHYSICS / COPENHAGEN

Обложка «Журнала шутливой физики», который был вручен Бору в день его пятидесятилетия. Бор-собака (заставка) — иллюстрация к рассказу Фрица Калкара «Таинственный атомный цех», который был помещен в том же номере вместе с такими статьями, как «Очерк о влиянии космических лучей на коэффициент Ландау, означающий самого физика Льва Ландау» и пр. Оба рисунка выполнены Питом Гейном.

лекций. Пригласив студента к себе в кабинет, Бор любил задавать ему наводящие вопросы о проводимой работе и постепенно втягивал юношу в оживленную дискуссию. Бор не имел обыкновения критиковать. Они встречались, чтобы побеседовать, но в результате этого студент учился критически относится к своей работе.

Такие дискуссии помогали студенту лучше узнавать своего руководителя. Бор никогда не прибегал к шутке, чтобы «сломать между ними лед» и затем начать «серьезную» научную дискуссию. Настроение Бора проявлялось во всем, что он говорил: либо он весело развивал свои идеи, либо выражал мрачное сомнение относительно «твердынь» классической физики, либо с юношеским энтузиазмом вступал на неизведанный путь. «Они идут к ученому, — сказал Розенфельд о молодых физиках, которых притягивал, как магнит, Институт Бора, — а находят человека в полном смысле этого слова».

Итак, весной 1927 года Бор уложил в чемодан окончательный вариант своего доклада, где излагалась копенгагенская интерпретация квантовой механики, и отбыл в Брюссель на Сольвеевский конгресс. Там должен был присутствовать Эйнштейн, и Бор был полон нетерпения услышать, что он скажет о новой теории, которая напоминала специальную теорию относительности Эйнштейна. Обе теории основывались на ограничивающих принципах; некоторые концепции, взятые из опыта, накопленного в мире явлений обычного масштаба с его малыми скоростями, не могли объяснить областей природы, где скорости достигают скорости света и где величины приближаются к постоянной Планка. В таких областях классическая физика приводила, с одной стороны, к теории относительности, с другой — к квантовой теории.

По мнению Бора, Эйнштейн был пионером в исследовании как первой области, так и второй. Его собственный вклад казался ему ничтожным. Не кто иной, как Эйнштейн, объяснив фотоэлектрический эффект, показал более широкое значение квантовой идеи Планка, и не кто иной, как Эйнштейн, продемонстрировал, как применять вероятностные законы для описания мира атома, тем самым выдвинув непричинный (некаузальный) метод на передовую линию физики. Плоды научной деятельности Эйнштейна были налицо. Бор выехал на конгресс, «горя желанием» заявить об этом Эйнштейну.

Альберт Эйнштейн. Общая теория относительности

Со мной происходит то же, что и с царем из волшебной сказки. Все, к чему тот прикасался, превращалось в золото, а у меня — в газетный бум...

Альберт Эйнштейн. Письмо к Максу Борну, 1920

Когда в 1927 году Эйнштейн встретился с Бором на Сольвеевском конгрессе, ему было сорок восемь лет. Его волосы были тронуты сединой, на лице появились морщины. Прошло уже четырнадцать лет с тех пор, как он вернулся в Германию, и большая их часть прошла в Берлинском университете — университете Германа фон Гельмгольца и Макса Планка.

С момента приезда в Берлин Эйнштейну было несколько не по себе. Впоследствии он вспоминал, что часто ощущал какой-то гнет, какое-то предчувствие, что все кончится плохо. Правда, Берлин предоставил ему то, чего он желал больше всего на свете, — возможность всецело посвятить себя любимой работе, но он не мог полностью отгородиться от внешнего мира, человеческого общества, в котором протекала его деятельность. Шестнадцатилетним юношей ему удалось избавиться от муштры в гимназии, от бессмысленного подчинения властям, которое, по его мнению, было характерно для жизни немецкой интеллигенции. Теперь он приобрел положение среди власть имущих, среди тех, от кого он еще подростком бежал. С самого начала он поставил себя в Берлинском университете как человек, который не принадлежит и не хочет ему принадлежать. Однако Эйнштейну пришлось провести там двадцать лет. Хотя, в отличие от Нильса Бора, он предпочитал работать в одиночестве и даже как-то сказал, что хотел бы всю

свою жизнь провести на маяке, ему всегда приходилось находиться среди людей.

Один из биографов Эйнштейна, Филипп Франк, описал, какое впечатление произвел новый профессор на некоторых членов Берлинского академического мира, в частности на профессора психологии Штумпфа, к которому Эйнштейн как-то отправился с визитом. По университетской традиции новый педагог был обязан соблюсти этикет и нанести своим коллегам визиты. Супруги Штумпф приготовились вести подобающую этому случаю беседу, задавать вопросы: «Как Вам нравится Берлин?», «Как поживает Ваша семья?»* и т. п.

Однако такая возможность им не представилась. Эйнштейн зашел к Штумпфу только потому, что слышал, что профессор интересуется ощущениями и представлениями, связанными с пространством, и, возможно, заинтересуется теорией относительности. Едва войдя в гостиную Штумпфов, Эйнштейн принялся объяснять свою теорию в связи с проблемой пространства, к великому смущению профессора, который не имел хорошей математической подготовки и поэтому не мог понять ни слова из того, что говорил Эйнштейн. Минут тридцать Эйнштейн рассказывал о совершенно непонятных вещах, когда вдруг поняв, что визит затянулся дольше, чем позволяли правила приличия, смущенно попрощался и ретировался.

Эйнштейн любил обсуждать серьезные научные проблемы, но не терпел пустой болтовни. Его совершенно не интересовали вопросы, важные для тех, кто весь смысл своей жизни видел в продвижении по академической лестнице от приват-доцента до звания полного профессора. На такие вопросы, как: «Вы слышали, что А избран в Прусскую академию наук?..., что В в своей статье неудачно сослался на работу С?» — коллеги Эйнштейна могли услышать в ответ взрыв громкого смеха. Эйнштейна не только не интересовали козни в академических кругах, они казались ему смешными.

Столь же «серьезно» относился он и к высоким собраниям Прусской академии наук, а между тем попасть в

* В 1901 году Эйнштейн женился на Милеве Марич — студентке Цюрихского политехнического института, с которой он вместе учился. У них было два сына. После возвращения в Берлин они развелись, и Эйнштейн женился на своей троюродной сестре Эльзе Эйнштейн, с которой прожил до самой ее кончины, последовавшей в 1936 году.

нее было настолько трудно, что далеко не все берлинские профессора получали туда доступ. Он едва находил в себе силы высиживать на официальных заседаннях с бесконечно длинными докладами академиков, вклад которых в науку был зачастую ничтожен; однако звучали эти доклады весьма помпезно н были подкреплены бесконечным количеством ссылок на каждую заслуживающую уважения и нмеющую хоть малейшее отношение к рассматриваемой теме работу; заседания, на которых члены Академии торжественно обсуждали любой вопрос, иногда весьма темпераментно, но всегда основательно, даже если речь шла о том, опубликовывать ли собранне научных трудов в одном нли в двух томах.

И даже не столько скука, царившая на заседаниях, раздражала Эйнштейна, сколько нх научная претенциозность. Он был нетерпим к ежедневной спекуляции наукой, к «легким» открытиям, которые помогали их авторам создать себе репутацию и... заработать на жизнь. Он счнтал, что ученые обязаны заниматься решением трудных, фундаментальных вопросов. Его взгляды были в высшей степени идеалистическими: наука — это «храм», говорил он. Люди должны туда ндти не с целью заработать деньги, не в поисках применения своих личных дарований, а просто «ради самой науки», для служения ей.

Как мы могли уже убедиться, сам Эйнштейн был охвачен одним стремлением — познать; стремлением, которое он называл «страстью». Личную жизнь он находнл слишком ограниченной, бедной, мертвой. В своих размышлениях он отрывался от всего земного — улицы, города, нации, планеты — и парил во Вселенной. Среди кажущегося бесконечного разнообразия и сложности, среди хаоса он открывал «всемнрную гармонию». *Способность* человека обнаруживать фундаментальный порядок и форму в мироздании служила для Эйнштейна источником безграничного удивления и восхищения. Страсть к физике определила его жизнь; вся его созидательная энергия была направлена по одному руслу. Один из друзей Эйнштейна как-то сказал, что для него «разница между жизнью и смертью... заключалась лишь в том, может ли он или уже не в состоянии заниматься физнкой».

Все остальное, почти без исключения, представлялось ему мелким или смешным. Так, однажды на похоронах

Эйнштейн признался одному из присутствующих, что он не видит никакого внутреннего смысла в подобных церемониях. На похороны приходят, сказал он, не желая вызвать осуждение других людей, точно так же, «как ежедневно чистят обувь только потому, чтобы кто-нибудь не сказал, что они носят грязные туфли». Зачастую то, что другими воспринималось серьезно, у него могло вызвать взрыв громкого неудержимого смеха, к удивлению или раздражению человека, который только что поделился с Эйнштейном тем, что, по его мнению, вовсе не было комичным.

Поэтому не удивительно, что некоторые люди называли Эйнштейна «ребячливым». В Берлине Эйнштейн не только чувствовал себя не в своей тарелке, но подобное чувство неловкости вызывал и у многих коллег. Даже одежда Эйнштейна свидетельствовала о его пренебрежении к условностям. По мере того, как шло время, он изымал из своего гардероба такие атрибуты, как галстуки и подтяжки, пижамы и носки. Они, как говорил Эйнштейн, являлись «ненужным балластом», еще одной утомительной стороной личного существования, и один за другим выбрасывались им за борт. Но когда имя Эйнштейна стало известно далеко за пределами узкого круга физиков, чрезмерная простота в одежде вместо того, чтобы способствовать росту свободы, на деле, по-видимому, наносила ей урон. Его необычный образ мыслей, его внешний вид — не только запоминающееся лицо, на котором выделялись печальные лучистые глаза, но и кожаная куртка, мешковатые брюки, неподстриженные, длинные, падающие на плечи волосы — все это вместе создавало ему репутацию человека странного, пренебрегающего условностями, и еще больше подчеркивало его эксцентричность и исключительность. Люди приезжали в Берлин с единственной целью взглянуть на Эйнштейна — диковинную тропическую птичку среди пингвинов.

Слава пришла к нему внезапно, после драматического подтверждения его второй (общей) теории относительности. Мы коротко остановимся на ней, чтобы рассказать о подходе Эйнштейна к решению научных проблем, который проявился позже в дискуссии с Нильсом Бором. Но прежде хотелось бы указать на существенное различие квантовой и релятивистской теорий. Хотя обе они рассматривали проблему движения в пространстве и времени, однако общая теория относительности, при-

менимая к явлениям макроскопического масштаба, имеет дело с движением, которое вследствие возможности пренебречь постоянной Планка можно изучить точно.

Когда Эйнштейн разрабатывал специальную теорию относительности, он стремился улучшить физический закон. Теория должна обнаружить свое «внутреннее совершенство». Она должна соответствовать физической реальности и основываться на допущениях, имеющих экспериментальную почву. Помимо того, необходимо третье требование: предпосылки, на которых строится теория, должны быть логически простыми и естественными. Эйнштейн обнаружил ограниченность ньютоновых законов движения, которые основывались на абсолютной системе координат, предусматривающей существование неподвижного, или абсолютного, пространства. Последнее условие, по его мнению, вовсе не было необходимым. Оно было искусственным, не связанным с измерением; более того, оно являлось недостатком теории, чем-то инородным, ненужным, усложненным. Он полагал, что этот недостаток вполне устраним. Следует найти такие законы, которые позволят наблюдателю судить о движении из любого наблюдательного пункта, любой системы отсчета; законы, которые справедливы независимо от того, сказано ли: «Земля совершает один оборот за сутки» или «Небесный свод обращается вокруг Земли за сутки», т. е. универсальные законы.

Создав специальную теорию относительности, Эйнштейн приблизился к своей цели, так как показал, что в случае равномерного прямолинейного движения вовсе не обязательна система отсчета, предусматривающая наличие абсолютного пространства. Предложенные им новые законы движения не были основаны ни на этой, ни на какой-либо другой предпочтительной системе отсчета. Но его работа не могла считаться завершенной, пока не был установлен закон движения более общего, чем прямолинейное и равномерное: закон неравномерного движения.

Отправив в журнал статью, посвященную теории относительности, Эйнштейн стал размышлять над проблемой неравномерного движения, о силах инерции и гравитации, которые, согласно Ньютону, сообщают телам движение подобного рода.

Прошло десять лет, прежде чем он смог разрешить эту проблему. Так же, как в первой теории относитель-



Альберт Эйнштейн в 1919 году, когда была успешно проверена общая теория относительности.

ности, его вывод осиовывался на понятиях простраиства н времени (а также иерции и массы), которые кореиным образом отличаются от аналогичиых поиятий, сформулироваиных иа базе повседиевиого опыта. Вывод противоречил укоренившимся представлеииям того времеии. Одиако вторая теория относительиости Эйиштейна, как н первая его теорня, была продиктоваиа не только стремлением опровергнуть общепризнаииые представлеиия, но н иепреодолимым желаинем упростить, обобщить н, таким образом, усовершеиствовать физнческий закои. Имеиио поэтому ои все свое виимание сосредоточнл иа проблеме ускорениого движения н заиимался ею в течение десятн лет, хотя в то время не имелось нн

одного экспериментального доказательства того, что законы классической физики неверны. Что же касается большинства других ученых, то такой проблемы для них попросту *не существовало;* ведь ньютоновы законы вполне удовлетворительно описывали движение планет, и не было ни одного эксперимента (подобного неудачной попытке Майкельсона и Морли обнаружить эфир), который вызвал бы сомнение в этих законах.

Как можно, не имея никаких экспериментальных данных, указывающих на наличие недостатков в существующей теории, создать новую? С чего следовало начать? И опять Эйнштейна выручила его интуиция, которая помогла ему найти форму новой теории. Он подверг сомнению законы Ньютона, в которых, по его мнению, все обстояло чересчур гладко. Существовала замечательная эквивалентность массы тела, рассматриваемой по закону тяготения Ньютона, как мера восприимчивости тела к полю тяготения, массе тела, считающейся, по законам движения Ньютона, мерой инерции тела.

Согласно Ньютону сила, необходимая для изменения движения тела, зависит от его массы: чем массивнее тело, тем больше его инерция, а потому сдвинуть его с места или *замедлить его движение* труднее, чем более легкого. Однако у этого закона было одно исключение: случай свободного падения тела. Вместо того чтобы падать медленнее, легкое тело движется с тем же самым ускорением, что и более тяжелое. Ньютон объяснил такое исключение законом тяготения, согласно которому сила притяжения одного тела к другому увеличивается прямо пропорционально массе притягиваемого тела. Или точнее, сила притяжения всегда оказывается достаточной, чтобы преодолеть силу сопротивления, пропорциональную инертной массе тела. Поэтому все тела, независимо от их массы, падают с одной и той же скоростью.

Эйнштейну казалось несколько подозрительным, несколько надуманным, что в данном случае ускорение нельзя отличить от действия тяжести, что одна и та же масса может выступать в двух различных ролях. Вовсе не следует возводить подобного рода совпадения в закон Вселенной: бог не настолько злобен, чтобы так все усложнить. Эйнштейн задумался: а не придумано ли просто различие между силой инерции и гравитационной

силой? Можно ли в принципе отличить движение, которое по Ньютону вызвано «гравитационным полем», от движения, вызванного «силой инерции?» Нет, нельзя, сделал вывод Эйнштейн, проанализировав эксперименты, которые могли бы быть проведены для ответа на данный вопрос. Различие было надуманным. Оно не имело под собой никакой экспериментальной почвы и, следовательно, согласно принципу: «Если ты не в состоянии проверить это измерением, ты этого не знаешь», ему не место в физической теории.

Принцип эквивалентности ускорения и поля тяготения и явился той опорой, которая была необходима Эйнштейну для создания новой теории — теории, которая основывалась бы не на случайности, не на предпочтительной системе отсчета; теории, которая объясняла бы действие гравитационной силы и силы инерции единой причиной — полем тяготения.

Максвелл объяснил электрические и магнитные эффекты наличием электромагнитного поля, которое изменяет свойства пустого пространства. Магнетизм, ранее представляемый как сила, которая оказывает воздействие на тело с некоторого расстояния, теперь мог быть объяснен как изменение свойств пространства, окружающего притягиваемое тело. Аналогичным образом Эйнштейн объяснил динамические эффекты инерции и гравитации как следствие изменений в пространстве, окружающего тело, на которое они воздействуют. Согласно его теории, гравитация не является силой, которая каким-то загадочным образом оказывает мгновенное воздействие на удаленные тела. Она представляет собой свойство пространства, которое вызвано наличием в нем различных удаленных друг от друга тел. Там, где находится планета или звезда, существует гравитационное поле, которое вызывает изменение свойств пространства.

По теории Эйнштейна от свойства такого возмущенного полем искривленного пространства зависит вид происходящего движения. Путь, проходимый телом, определяется областью пространства, через которое оно движется; наличием «долин» и «пригорков», которые ему приходится преодолевать. Таким образом, согласно гипотезе Эйнштейна, кратчайшим расстоянием, наиболее легким маршрутом между двумя точками является не прямая, а замкнутая кривая, проходящая между «выпуклостями» искривленного пространства. Прежде чем

Эйнштейн смог сформулировать законы движения, в основу которых была положена эта гипотеза, он должен был найти геометрию, которая описывала бы новое искривленное пространство, геометрию, в основе которой не лежало бы представление о плоском пространстве, а следовательно, и представление о прямых линиях, т. е. неевклидову геометрию. После долгих поисков (во время которых он очень сожалел, что в Цюрихском политехническом институте не уделял большего внимания изучению математики) он обнаружил в геометрии Римана то, что искал. В отличие от других неевклидовых геометрий геометрия Римана переходила в евклидову в небольших областях пространства, таких, которые подвластны наблюдениям человека.

Говоря об общей теории относительности, мы использовали термин «пространство», хотя правильно говорить о единстве «пространства-времени» (в данном случае время является четвертым измерением). Для полного описания движения необходимо наряду с тремя пространственными координатами (отвечающими на вопрос «где?») использовать временну́ю координату (отвечающую на вопрос «когда?»). До появления специальной теории относительности на основании житейского повседневного опыта человека предполагалось, что время не зависит от остальных трех измерений. Специальная теория относительности Эйнштейна продемонстрировала, что это предположение несправедливо для случаев, не укладывающихся в рамки повседневного опыта. В общей теории относительности четырехмерное единство пространства и времени также имело фундаментальное значение. Эйнштейн показал, что наблюдатели, находящиеся в различных точках Вселенной, наблюдая одно и то же событие, будут оценивать его по-разному. Но в таком случае как узнать, что они действительно наблюдали одно и то же событие? Как выяснить, что являлось объективным, общим для наблюдателей, весьма разных и субъективно настроенных? На все вопросы Эйнштейн ответил, используя понятие пространственно-временной системы, так называемого четырехмерного континуума. Наблюдения, проведенные в различных точках Вселенной, должны различаться, но если их отнести к математической пространственно-временной схеме, то можно получить объективную информацию. Другими словами, законы относительности справедливы для любой систе-

мы координат, для любой точки наблюдения. Эти законы универсальны.

Тогда, согласно теории относительности, пространство и время неотделимы, а в областях Вселенной, где присутствует какое-либо материальное тело, имеет место искривление пространства-времени. Отсюда следует, что мировое пространство должно иметь предел, оно должно быть конечно. Таким образом, общая теория относительности впервые позволила рассматривать на научной основе Вселенную в целом. В этом ее основное значение. Но хотя общая теория относительности и играет важную роль в современной космологии, она не так прочно вошла в науку, как специальная теория Эйнштейна, поскольку подтвердить ее справедливость исключительно трудно*. Формулы общей теории относительности, подтверждая тем самым принцип соответствия, переходят в формулы ньютоновой физики в тех случаях, где, как известно, это должно иметь место. Ньютоновы законы превосходно объясняют движение планет. Однако, как указывалось ранее, существовало одно исключение. Эйнштейн обнаружил его, когда, завершив свою работу по общей теории относительности, стал искать пути ее проверки. Так как предсказания, сделанные на основе его теории, не совпадали с законом Ньютона для случая, когда тела движутся в сильном поле тяготения, то Эйнштейн проверил данные наблюдений астрономов за планетой Меркурий, которая в одной из точек своей орбиты очень близко приближается к Солнцу. Учет всех возмущений от отдаленных планет на основе закона Ньютона не объяснил наблюдаемого смещения орбиты, в то время как общая теория относительности находи-

* Было проведено всего три экспериментальные проверки теории, причем в последние годы результаты двух из них поставлены под сомнение.

(Не совсем точно. В настоящее время известны четыре фундаментальных эксперимента, подтверждающих общую теорию относительности: а) в экспериментах Дикке и Ролля было показано, что свинцовые и алюминиевые массы при равных начальных условиях движутся в соответствии с принципом эквивалентности гравитационной и инертной масс; б) произведено измерение искривления пространства-времени вблизи Солнца (отклонение луча света) и вблизи Земли (опыты Паунда и Ребка по измерению красного смещения линии резонансного мёссбауэровского поглощения изотопа Fe^{57}; в) изменение прецессии перигелия Меркурия; г) эффект Хаббла (разбегание галактик) подтвердил модель расширяющейся Вселенной советского ученого Фридмана.— *Прим. перев.)*

лась в прекрасном согласии с результатом наблюдения. Это была первая проверка теории; затем была осуществлена вторая, как раз незадолго до окончания первой мировой войны, которая убедила многих ученых, что к теории относительности следует относиться серьезно. Именно она принесла Эйнштейну мировую славу.

Испытание было проведено группой английских ученых, которые смогли во время полного солнечного затмения сфотографировать звезды, видимые вблизи диска Солнца. Они хотели выяснить, действительно ли свет, излучаемый звездами, искривляется гравитационным полем Солнца, так как из теории Эйнштейна следовало, что путь, проходимый светом, определяется, подобно траекториям движения планет, пространственно-временной структурой. В этом случае, гласила теория, должно наблюдаться незначительное смещение (не больше, чем, например, у монеты, наблюдаемой с расстояния в две мили), однако английские ученые смогли установить, что такое смещение действительно имеет место.

Об открытии стало известно на собрании Лондонского Королевского общества, и Дж. Дж. Томсон, тогдашний президент общества, назвал работу Эйнштейна «одним из величайших достижений в истории человеческой мысли». Газеты уделили этому большое внимание. Шел 1919 год, война между Германией и Англией только что окончилась, и тот факт, что английские ученые подтвердили правильность теории, выдвинутой немцем, казался заслуживающим особого внимания. Одна из английских газет назвала Эйнштейна «швейцарским евреем» (формально он являлся подданным Швейцарии), что немало позабавило Эйнштейна. Сейчас в Германии его с гордостью называли «немецким ученым», но в Англии, по-видимому, предпочитали считать «швейцарским евреем». Случись ему когда-либо утратить свою популярность, заметил Эйнштейн, произошло бы обратное: для Англии он тотчас же превратился бы в «немца», а для Германии — в «швейцарского еврея».

Его шутка оказалась пророческой в отношении Германии. Уже в 1919 году стали распространяться слухи, что своему поражению в войне Германия обязана не слабому военному потенциалу, а государственной измене. Стали ходить слухи, что пацифисты и евреи «всадили нож в спину» Германии. С годами слухи возрастали. Еще задолго до прихода в 1933 году Гитлера к власти

Альберт Эйнштейн, пацифист по убеждению, еврей по национальности, подвергся злобным нападкам на общественных собраниях и на страницах некоторых газет.

В то же время в глазах многих других немцев Эйнштейн был фигурой героической. До войны Германия гордилась прежде всего своим военным превосходством и достижениями в науке. Первое оказалось пустым блефом, но отнюдь не второе. Недавние враги сами подтвердили правильность работы Эйнштейна, которая усовершенствовала теорию англичанина Исаака Ньютона, и бурно ей аплодировали.

Чтобы объяснить интерес к теории относительности, который вдруг пробудился у многих немцев (да и у всего человечества), выдвигались различные соображения. Возможно, люди, как и сам Эйнштейн, захотели помечтать о чем-то бесконечно далеком от их будничной жизни, омраченной войной и разрухой, помечтать о том, чтобы настал конец абсолютному и безжалостному времени. Идеи Эйнштейна, выражаясь языком журналистов, долгое время «оставались в центре внимания».

Физики, как и обыватели, также желали понять смысл новой теории. Буквально для всех теория относительности, на первый взгляд, была непонятной. Даже те немногие, которые имели необходимую математическую подготовку, не могли в ней разобраться. Эту теорию можно было понять, только пользуясь ее же собственным языком, а он был *новым;* для того чтобы разобраться в теории Эйнштейна, ученый должен был научиться по-иному мыслить. Макс Борн рассказывал, что когда он впервые взялся за изучение теории относительности Эйнштейна, то нашел ее «пленительной, однако трудной и почти отпугивающей». Ему удалось изучить ее лишь после длительного труда и дискуссий с самим Эйнштейном. (Впоследствии он назвал ее «прекрасной». К такому выводу пришли и другие физики.) Со временем идеи Эйнштейна стали более понятными, но в начале 20-х годов немногие физики были в состоянии объяснить широкой аудитории, в чем смысл общей теории относительности.

Это еще более усугубляло и без того курьезную ситуацию. Не будет преувеличением сказать, что еще никогда столь большое число людей не интересовалось физической теорией. (Квантовая теория никогда не привлекала к себе такого внимания, хотя сами физики считали, что она не менее значительна и удивительна, чем

теория относительности.) Газеты посвящали ей передовые статьи. Среди философов и крупных церковнослужителей проходили дебаты о связи между относительностью и релятивизмом (идеей, что нормы этического поведения являются не абсолютным понятием, а изменяются вместе с развитием цивилизации). Теорию Эйнштейна также называли «антиматериалистической». В России ее критиковали именно на этом основании. В других странах теория относительности подверглась нападкам за то, что она являлась якобы «коммунистической», так как вызов, брошенный ею традиционным научным идеям, приравнивался к радикальным, революционным переменам в государственном строе России.

К травле присоединились некоторые физики, которые сами не являлись теоретиками и верили в «здравый смысл». Среди них был немецкий физик лауреат Нобелевской премии Филипп Ленард, эксперименты которого явились основой для вывода Эйнштейном фотонной теории света и который впоследствии одним из первых немецких ученых вступил в нацистскую партию. Ленард вместе с несколькими другими учеными и философами примкнул к особой организации, проводившей в 20-х годах кампанию по дискредитации Эйнштейна.

В то время Германия сделалась федеративной республикой: в конце войны кайзер был свергнут с престола. В стране царили безработица, инфляция, были сделаны попытки свергнуть правительство как со стороны слоев, сочувствующих коммунистам, некоторое время державших в Мюнхене власть в своих руках, так и со стороны тех, кто желал восстановить монархию с ее прусским милитаризмом. Монархическая группа распространяла слухи, что своим поражением в войне Германия обязана предательству евреев и пацифистов. Именно ее члены (вместе с некоторыми учеными и философами, которые не являлись сторонниками какой-то определенной политической партии) выступали с нападками на Эйнштейна. Это была кампания, в которой научные аргументы использовались в качестве оружия, якобы направленного против теории Эйнштейна, а в действительности — против новой германской республики.

Однако Эйнштейна нельзя было назвать немым «козлом отпущения». Напротив, он только подливал масло в огонь, занимая вполне определенную позицию, в корне противоположную взглядам экстремистов. Все,

что говорил Эйнштейн по любому поводу, быстро появлялось на страницах газет и читалось многими людьми, которые интересовались как самим Эйнштейном, так и его теориями. Он высказывался за единое мировое правительство, за окончание войны, и это в той стране и в то время, когда интернационалистов и пацифистов считали почти предателями (причем это не было мнением одних политических экстремистов).

После того как его общая теория относительности была блестяще подтверждена, Эйнштейн вполне сознательно принял активное участие в политической жизни Германии. Свои научные теории он использовал в качестве аргумента в защиту собственных социальных и политических убеждений; он пользовался тем, что каждое его высказывание представляло интерес для большого круга людей, и все, что он говорил, сразу же предавались гласности. Для Эйнштейна мало значило, что подобные высказывания явно не способствовали его популярности в определенных кругах. Единственным, что имело для него значение, была физика.

Он относился к ней как к святыне. И не только питал отвращение к тому, что его научная деятельность оплачивалась, он даже не любил, когда ему воздавали почести за открытия в области физики. Однажды он сказал, что в какой-то степени испытывает гордость за свою общую теорию относительности. Что же касается специальной теории, то если не он, то кто-нибудь другой создал бы ее, так как проблема назрела. Иначе обстояло дело с общей теорией: эта проблема совершенно не привлекала внимания физиков. Но всякого рода восхваления по ее адресу или любых других его научных открытий всегда приводили Эйнштейна в глубокое замешательство: все, что он сделал, он сделал ради самой науки.

«Не только несправедливо, но даже свидетельствует о дурном вкусе, — заявил Эйнштейн, — избирать немногих... предметом своего безграничного восхищения, приписывать им сверхчеловеческие ум и черты характера». Это казалось ему «просто гротескным», «невыносимым».

После того как его работа получила широкое признание общественности, Эйнштейн все еще продолжал мечтать об уединенном существовании смотрителя маяка. Почет и благоговение, которыми он был окружен, помимо огорчения приносили ему тягостное сознание

невыполненного долга. Он чувствовал, что было бы неправильным уйти от людей, которые относятся к нему с чувством изумления и восхищения, и искать только собственных удовольствий, т. е. заниматься физикой и только физикой. Эйнштейн считал, что человек связан неразрывными узами с остальными людьми и в такой зависимости друг от друга и заключается «наше основное преимущество перед дикими животными». Эйнштейн всегда необыкновенно остро ощущал чувство неоплатного долга перед другими людьми, хотя в то же время, как он сам признавался, оно «угнетало» его. Он говорил, что «бессчетное число раз ежедневно я напоминаю самому себе, что моя внутренняя и внешняя жизнь обязаны труду других людей...» Воспользовавшись пришедшей к нему славой, Эйнштейн стал распространять свои убеждения, которые, как он считал, должны стать достоянием людей, но которые, он был уверен, будут встречены в штыки. Тем самым Эйнштейн хоть немного облегчал бремя обязательств, которое он нес. Он поставил на карту свою репутацию, и его нисколько не беспокоила возможность ее потерять. Эйнштейн присутствовал на первом массовом митинге, проведенном антиэйнштейновской группировкой, и горячо аплодировал своим противникам. Похвалы могли унизить Эйнштейна, оскорбления же, по-видимому, нет.

К 1927 году Эйнштейн продолжал находиться в ореоле славы, так как еще не было забыто блестящее подтверждение общей теории относительности, выполненное англичанами. Не только одни научные идеи Эйнштейна и его личная жизнь, сделавшаяся достоянием газет, не только нарочитое обнародование им своих спорных, выходящих за рамки науки убеждений, но даже его острый язык, даже его внешний вид, который свидетельствовал о пренебрежении к вещам, которые другими воспринимались с полной серьезностью, — казалось, абсолютно все благоприятствовало тому, чтобы он сделался царем Мидасом газетного бума. Когда в Брюсселе на Сольвеевском конгрессе Эйнштейн приветствовал Нильса Бора, он выглядел почти таким, каким мы его знаем по фотографиям, сделанным позже, уже в Соединенных Штатах Америки. К тому времени Эйнштейн приобрел репутацию мыслителя с радикальными взглядами как в науке, так и вне ее.

Дискуссия между Нильсом Бором и Альбертом Эйнштейном

В двадцатом столетии физики нанесли сокрушительный удар философам-профессионалам. Представители других областей науки прошли мимо и не приняли участия в разработке такого удивительного закона, как принцип дополнительности, и в доведении индетерминизма до уровня универсального закона.

Джемс Р. Ньюмен. «Сайентифик Американ»

Знаменитый принцип неопределенности не такой негативный, как кажется на первый взгляд. Он ограничивает сферу применения классических представлений к событиям атомного мира, освобождая место таким новым концепциям, как корпускулярно-волновой дуализм. Принцип неопределенности обогатил наши знания, а не обеднил их; он позволил нам включить атомный мир в рамки классических идей. Как сказал Гамлет: «Гораций, в мире много кое-чего, что вашей философии не снилось».

Ответ Виктора Ф. Вайскопфа Джемсу Ньюмену «Сайентифик Американ»

Общая теория относительности Альберта Эйнштейна придала новый смысл идеям, которые лежали в основе классической физики. Однако в одном важном аспекте теория относительности не явилась радикальным отступлением от традиционной научной мысли. Она не подвергала сомнению детерминизм — «животрепещущий вопрос», как назвал его Эрвин Шредингер. Хотя в общей теории относительности между пространством и временем снова проводилось радикальное различие, новая пространственно-временная структура позволяла физикам получать точную информацию и, как следствие, делать точные предсказания. Свойства искривленного пространства-времени меняются постепенно и непрерыв-

но, движение может быть изображено в виде причинной зависимости, а теория относительности, как и классическая физика, позволяла понять, как развивается событие во времени.

Но, согласно квантовой теории, как мы видели, за некоторыми пределами независимо от того, как определены пространство и время, эволюцию отдельного события уже нельзя проанализировать. Возмущение, вызываемое при наблюдении, не может быть разграничено от наблюдаемого события. Следовательно, в данном случае невозможно понять точное причинное развитие события и предсказать его точный исход.

Такое сравнение теорий нельзя было провести вплоть до 1927 года, когда была сформулирована копенгагенская интерпретация квантовой механики. Это произошло на Сольвеевском конгрессе, где Бор выступил с изложением принципов интерпретации, а Эйнштейн к удивлению собравшихся физиков, нашел ее неприемлемой.

На протяжении нескольких лет он не внес никакого вклада в квантовую теорию атомной структуры, будучи убежден, что статистический путь, которым следовали остальные, не может привести к пониманию в полном смысле этого слова. Такие взгляды Эйнштейна ни для кого не являлись секретом. Но теперь Гейзенберг и Бор показали, что статистические правила, вместо того, чтобы служить временным прибежищем, являлись выражением действительности. Отказ Эйнштейна принять их, несмотря на явные доказательства, полученные Гейзенбергом и Бором при анализе экспериментальных данных, казался удивительным. Ведь анализ доказал, что элементарные частицы не подходят под категории классической физики, которая позволяет проводить причинный анализ. Квант действия указывает на невозможность одновременного получения полной информации об изучаемом предмете, ибо для этого ученый должен рассматривать его в разных экспериментах с различных позиций. Поэтому бессмысленны поиски теории, которая «описывала бы вещь саму по себе, а не простую вероятность ее появления», а между тем Эйнштейн занимался поисками именно такой теории. Между взглядами его и Эрвина Шредингера существовало различие, однако оба они разделяли убеждение, что от кванта действия когда-нибудь и каким-нибудь образом избавятся; непрерыв-

ность, а следовательно, и детерминизм будут восстановлены.

Нильс Бор, подобно остальным участникам конгресса, был крайне удивлен. Он не раз беседовал с Эйнштейном до этой встречи, и ему было известно отношение Эйнштейна к квантовой теории, однако он полагал, что Эйнштейн будет руководствоваться принципом, что физическая теория должна основываться на идеях, которые могут быть привязаны к измеряемым величинам. Используя такой принцип, Эйнштейн отверг концепцию эфира, абсолютного пространства и времени, различия между гравитацией и инерцией. Некоторые критики теории относительности утверждали, что даже если эти концепции и не могут быть увязаны с наблюдаемыми процессами, все равно их не следует изгонять из физики. Эйнштейн никогда не соглашался с ними. Они были убеждены, что и в отношении к копенгагенской интерпретации квантовой теории Эйнштейн будет придерживаться той же точки зрения. Как только он поймет смысл экспериментов, подтвердивших квантовую теорию, он сразу перестанет настаивать на классическом описании природы. Он согласится, что идея возможности такого описания возникла на основе научных экспериментов, проведенных с событиями макроскопического масштаба, и что в случае атома она не имеет смысла.

Однако события развернулись иначе. Эйнштейн все свои могучие силы сосредоточил в попытке опровергнуть закон индетерминизма, на котором была построена копенгагенская интерпретация, аргументируя тем, что существует исключение, где этот закон не имеет силы. Он использовал мысленные эксперименты (эксперименты, которые в принципе осуществимы) и на их основе попытался продемонстрировать, что q и p могут быть измерены одновременно и точно, что противоречило соотношению неопределенностей Гейзенберга. Ежедневно Эйнштейн преподносил Бору все новые и новые мысленные эксперименты; к вечеру Бор после тщательного анализа находил, что они не противоречат постулатам квантовой механики, и отвергал возражения Эйнштейна. Но на следующее утро Эйнштейн появлялся с новым остроумным мысленным экспериментом (такой метод он мастерски использовал в своих теориях относительности). Наконец, Пауль Эренфест, связанный тесной дружбой с обоими, не выдержал и сказал полушутя:

«Да, постыдитесь же, Эйнштейн! Вы расшумелись как критик, который поносит ваши собственные теории относительности. То и дело Ваши аргументы отбрасываются, но вместо того чтобы применить Ваш же собственный принцип, согласно которому не имеют смысла утверждения, недоступные принципиальной проверке измерением, построенные на предвзятых мнениях. Вы продолжаете изобретать аргумент за аргументом, основанные на этих самых предвзятостях».

Однако, невзирая на дружеское замечание, Эйнштейн продолжал выступать против. Три года спустя, когда физики вновь собрались в Брюсселе, он встретил Бора, имея в запасе новый мысленный эксперимент, но на сей раз, как выразился Бор, это был «серьезный вызов».

Согласно соотношению неопределенностей Гейзенберга, изменение энергии на атомно-фотонной шкале величин нельзя измерить с точностью, превосходящей величину постоянной Планка. Эйнштейн считал, что это тот самый случай, когда закон не соблюдается. В основу своей идеи он положил выведенную им формулу $E = mc^2$, из которой, зная массу, можно определить полную энергию системы. Чтобы измерить энергию фотона, надо прежде всего его взвесить. Предположим, излучение заключено в ящик, внутренние стенки которого покрыты зеркалами, поэтому излучение может сохраняться в ящике неопределенно продолжительное время. Ящик взвешивают. Затем выпускают один фотон через отверстие с затвором, приводимым в действие часовым механизмом, который помещен внутри ящика; по часам определяют, в какой момент времени это произошло. Ящик снова взвешивают. Зная изменение массы, по формуле Эйнштейна находят количество потерянной энергии. Таким образом, в данном случае, казалось бы, можно точно определить изменение энергии, так же как и время, когда событие (высвобождение фотона) произошло.

Мог ли Бор найти слабое звено в цепи логических рассуждений Эйнштейна? Действительно ли с помощью данного эксперимента можно одновременно и точно измерить значения p и q, что противоречит закону индетерминизма? День близился к концу, а Эйнштейн так и не получил ответа. Наступила ночь. Бор, мучимый бессонницей, продолжал «сражаться» с проблемой. Приближался рассвет. Наконец, утром Бор нашел то, чего не

заметил Эйнштейн, — весьма существенное обстоятельство: воздействие процесса взвешивания на часы.

Аргументы, приведенные Бором, касались любого способа взвешивания, но чтобы более ясно показать, в

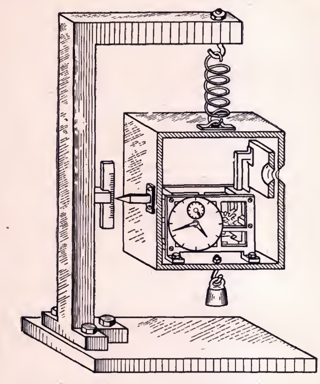


Рисунок Нильса Бора, показывающий, как гипотетический ящик Эйнштейна с источником света может быть взвешен с помощью пружинных весов. На рисунке видны детали; Бор верил в тщательный анализ процесса взвешивания.

чем они заключаются, он предложил представить, что эйнштейновский ящик со светом подвешен на пружинных весах. Положение ящика можно с помощью стрелки отсчитывать по шкале. В таком случае при вылете фотона в результате отдачи ящик сдвинется. Его вертикальное положение по отношению к поверхности земли изме-

нится, а следовательно, изменится и его положение в гравитационном поле Земли. Согласно общей теории относительности, изменение пространственного положения означает изменение скорости хода часов, жестко прикрепленных к ящику. Изменение будет чрезвычайно малым, но в данном случае решающим. Из-за нескольких неизбежных неопределенностей: неопределенности направления, в котором вылетел фотон вследствие отдачи ящика, неопределенности его положения в гравитационном поле, *невозможно* установить точный момент вылета фотона из ящика. Время вылета действительно неопределенно в пределах, указываемых принципом Гейзенберга — краеугольным камнем копенгагенской интерпретации. Так Бор ответил на вызов, брошенный ему Эйнштейном, который забыл применить свою же собственную общую теорию относительности.

Возвратившись в Копенгаген, Нильс Бор сказал, что удивляется самому себе, так как всегда считал, что он не слишком хорошо разбирается в теории относительности. Но при этом он был весьма разочарован. Эйнштейн, хотя и признал, что копенгагенскую интерпретацию нельзя опровергнуть на строго научной основе, никак не желал безоговорочно ее принять. Эта теория «много даст,— сказал он,— но едва ли приблизит нас к тайнам старого господа бога». Эйнштейн все еще продолжал верить в возможность описания вещи самой по себе. Думать иначе было противно его научной интуиции, его «внутреннему голосу».

Чувство интуиции привело его к созданию теории относительности. Он выступал с критикой предпосылок ньютоновской теории как основанной на совпадениях, как излишне усложненной. Эйнштейн полагал, что именно эта его способность улавливать неуловимые недостатки в логике, «ощущать» внутреннее совершенство и недостатки в теории позволяют ему находить наиболее общие законы мироздания, схему бытия, которую он называл «господом богом». Мысль о том, что новые предпосылки теории относительности, которые он обнаружил, дают точное представление о схеме основных закономерностей бытия, Эйнштейн считал ошибочной. Сам он сумел показать ошибочность предпосылок Ньютона, а в будущем другие ученые докажут, что предпосылки Эйнштейна были неправильными. Но, по мнению Эйнштейна, только так другие смогут приблизиться к «классическому идеалу».

Собственные научные работы казались ему поисками чего-то вне личного, поисками, во время которых он освобождался от «просто личного» существования, «узкого... скучного». Исследования имеют конец, освобождение возможно, ибо человек *способен* познавать. Именно благодаря тому, что он обладал этим научным чутьем, помогающим ему в поисках более совершенной системы понятий, чувством красоты формальной математической логики, он смог приблизиться к секретам Всемогущего.

Так говорил «внутренний голос» Эйнштейна. Однако Нильс Бор тоже обладал внутренним чутьем. Ему, как и Эйнштейну, оно помогало в научной работе; но чутье Бора носило несколько иной характер. Оно говорило, что пока человек пытается понять физическую реальность, которая существует вне его, символы, которые он изобретает для объяснения этой реальности, выражены на языке человека и целиком являются творением человека. Язык математических символов — плод человеческого разума; он более чист, менее громоздок, чем другие языки, но, подобно им, он отражает ход человеческой мысли и не является независимой от человека символической схемой.

По мнению Нильса Бор, человек — центральная фигура. На сцене бытия (включая и «человеческую комедию») он является как зрителем, так и действующим лицом. В зависимости от двух различных ролей существуют разные суждения и подходы к оценке действительности. Как зритель, говорил Бор, человек старается понять мотивы человеческого поведения на рациональной основе. Он пытается оценить поведение, оправдывая или осуждая его, стараясь при этом быть справедливым. Как действующее же лицо он не руководствуется одним благоразумием или одной справедливостью. Со стороны, говорил Бор, это противоречие заметно. Если рассуждать абстрактно, то разве не противоречит *истинная* справедливость *истинному* милосердию? Однако внутренний голос говорит нам: «Здесь нет явного противоречия, ибо сам человек является творцом того, что он называет «абстракциями». Выступая в роли зрителя, он усовершенствует систему понятий, благодаря чему «противоречие» становится явным».

Вместо того чтобы искать схему, существующую независимо от человека, Нильс Бор обнаружил огромное богатство человеческого опыта, требующего множества разнообразных подходов к оценке действительности, и

среди них — науку. Созданная человеком математическая логика, объясняющая реальный физический мир, не менее замечательна. В той же самой логике Альберт Эйнштейн видел лишь способ постигнуть чудо, существующее независимо от человека.

На Сольвеевском конгрессе 1930 года оба физика в дискуссии высказали свои взгляды, свою философию. После того как Бор одержал верх в споре об эйнштейновском ящике, они вдвоем отправились погулять. Эйнштейн, воспользовавшись случаем, сказал, что его очень беспокоит, что Бор никак не может понять совершенно очевидные вещи.

Эйнштейн сказал: «Бесполезно пытаться предсказывать значение некоторой физической величины, если вы не располагаете никакими способами подтвердить свое предсказание на основе внутреннего совершенства физической теории». Трудиться, не имея такой основы, сказал он,— значит «предавать физику».

В ответ Бор заявил, что физическая интерпретация должна быть связана с измеримыми величинами, находиться в согласии со всеми наблюдаемыми фактами, а используемая в ней логика не должна противоречить самой себе. Он не признает никакого другого принципа, никаких других путей, связанных с внутренним совершенством физической теории. Нельзя вставать на такой путь в поисках понимания совершенно нового мира природы, сказал Бор. Рассчитывать, что какой-то привычный для нас принцип будет продолжать выполняться и в новой сфере природы,— именно это и есть не что иное, как «предавать физику».

Таким образом, новая квантовая теория выдержала все испытания, кроме одного, которое Эйнштейн заметил, а Бор — нет. Поскольку возражения Эйнштейна приняли форму утверждений, которые могли быть проверены, они получили ответ, и Эйнштейну пришлось согласиться, что и с этой стороны теория неуязвима. Однако, поскольку его возражения носили также и философский характер, их нельзя было ни проверить, ни разрешить. Эйнштейн не смог от них отказаться: он оставался верен своему «внутреннему голосу». Он продолжал настаивать, что теория является незавершенной; когда-нибудь дискретность будет уничтожена. Он продолжал считать, что обнаружил ошибку в копенгагенской интерпретации квантовой теории. Бор же продолжал парировать критические

выпады Эйнштейна. Постепенно дискуссия превратилась скорее в спор между двумя философами, нежели физиками; они спорили о теории, исходя из того, какой вклад она внесла в познание. В ходе дискуссии Бор усовершенствовал копенгагенскую интерпретацию квантовой теории; этой проблеме он посвятил и многие последующие годы. Он говорил, что мысленно всегда продолжал свой спор с Эйнштейном.

А тем временем в физике квантовая механика (и копенгагенская интерпретация) продолжала оставаться единственной теорией, фундаментально объясняющей поведение отдельных атомов и систем атомов. И поныне она является основным инструментом атомной физики; вообще говоря, ученые даже и не ожидают, что когда-нибудь она будет заменена теорией, которая бы описывала «само явление, а не его вероятность».

Правда, имеется несколько исключений. Дискуссия между Альбертом Эйнштейном и Нильсом Бором, хотя оба они уже ушли из жизни, продолжается и поныне, о чем свидетельствуют оба эпиграфа к этой главе. В последние годы дискуссия привлекает к себе еще большее внимание, так как физики ожидают появления новой теории строения материи.

Физики, выходя за рамки квантовой механики, экспериментируя со все более и более высокими энергиями, кажется, обнаружили ограниченность квантовой теории. Как говорится в стихотворении, написанном в честь Нильса Бора, квантовая теория «описывает с двух сторон как электрон, так и протон» атома.

Но в условиях концентрации чрезвычайно высоких энергий свойства, которые характеризуют атом, исчезают. Когда в современных гигантских ускорителях ядро бомбардируется субатомными частицами, энергия которых достигает миллионов и даже миллиардов электронвольт, в действие вступают новые силы и новые элементарные частицы. Появляются вопросы, на которые невозможно ответить с позиций квантовой механики. Необходима новая теория. На основании опыта прошлого физики полагают, что такая теория вызовет радикальный переворот в мышлении. Прежде всего, смогут ли новые идеи покончить с квантом действия и описывать вещь саму по себе? Или новая теория сохранит принцип индетерминизма и копенгагенскую интерпретацию? Никто этого пока не знает.

Послесловие

...сообщить более широким кругам...
Нильс Бор

Все физики, о которых шла речь в этой книге,— от Резерфорда и Планка до Поля Дирака — продолжали жить и работать еще долгое время после 1930 года (и всем им в разное время были присуждены Нобелевские премии за вклад, который они внесли в квантовую теорию). Некоторые из них живы и поныне и продолжают деятельно заниматься физическими исследованиями.

Макс Борн ушел из Эдинбургского университета (Шотландия), где он преподавал в течение многих лет после того, как покинул Геттинген. Сейчас он на пенсии и живет в ФРГ *. Луи де Бройль, в прошлом профессор Сорбонны, всю свою жизнь провел во Франции, где живет и сейчас. Вернер Гейзенберг и Поль Дирак занимаются исследованиями в области ядерной физики; первый — в Институте физики кайзера Вильгельма, теперь находящемся в Мюнхене и переименованном в Институт Макса Планка, второй — в Кембридже. В кругу физиков, которые в основном моложе их, оба занимаются поисками новой универсальной теории материи, теории, объясняющей то, что уже частично известно о ядре, подобно тому как квантовая теория объясняет химические свойства элементов; теории, которая, возможно, уничтожит принцип неопределенности, а быть может, и нет.

Эрнст Резерфорд, открывший ядро, был первым, кто осуществил искусственное расщепление ядра и выбил из него протон, превратив, таким образом, один элемент в

---

* Макс Борн скончался 5 января 1970 г.— *Прим. ред.*

другой. Его эксперименты, возвестившие о рождении новой науки — ядерной физики, были проведены в конце первой мировой войны, и если не считать одного лаборанта, все опыты были выполнены руками самого Резерфорда. В этих экспериментах он использовал прибор, аналогичный тому, который он применил для открытия ядра: радиоактивный альфа-источник, мишень и флюоресцирующий экран. Вся аппаратура была достаточно легкой (ее можно было поднять), портативной (она помещалась на небольшом столе) и была в основном собрана вручную.

Однако вскоре все коренным образом изменилось. Окончилась эра лабораторных стеклодувов, приборов, скрепленных проволокой и лабораторной замазкой,— инструментов для атомных исследований, которые можно было в буквальном смысле унести в шапке (как и поступил однажды один физик: пересекая границу он перевез в шапке радиоактивный элемент, который ему был нужен для проведения экспериментов, так как не хотел ждать, пока таможенники подберут соответствующий артикул для незнакомого им предмета).

В конце второй мировой войны Резерфорд уехал из Манчестера, чтобы возглавить Кавендишскую лабораторию, где он некогда был студентом. Его большой друг Дж. Дж. Томсон стал руководителем одного из колледжей Кембриджа, и Резерфорд занял освободившееся место. В Кавендише новозеландец продолжил свои ядерные исследования, он руководил работой новой команды из «мальчиков», которые прекрасно знали, что для того, чтобы получить больше информации о ядре, следует использовать максимально возможное число атомных частиц с высокими энергиями. Для ускорения этих частиц они использовали все более сильные электромагнитные поля, а для получения таких полей — все более крупные устройства.

«...В Кавендише мы перевернули реальные солидные факты с ног на голову»,— хвастался Резерфорд. Он очень гордился своими «мальчиками», один из которых Джемс Чедвик, открыл нейтрон. До самой своей смерти, последовавшей в 1937 году, Резерфорд принимал самое активное и бурное участие в их работе, в «схватке с машинами», как он ее называл. Его страстное желание узнать как можно больше не угасло с годами, как и его вспыльчивость. Между собой «мальчики» называли своего шефа «Кроко-

дилом», потому что, как объяснил один из них *, «Крокодил никогда не поворачивает головы назад... Он идет со своей всепожирающей пастью только вперед».

Ускорительные устройства, которые «выросли» в Кавендише в течение 30-х годов, повсюду пустили свои побеги, например в Беркли (Калифорния), где был создан циклотрон. Все больше и больше денег требовалось для оборудования исследовательских физических лабораторий. Все больше средств субсидировало правительство, особенно после того, как в 30-х годах было открыто деление ядра и стало ясно, что получаемую при этом огромную энергию можно использовать в военных целях. Както в 1900 году наследник германского престола принц Фридрих зашел к профессору Герману фон Гельмгольцу за консультацией по военным вопросам. После 1939 года подобные консультации стали обычным явлением во многих странах.

Усложнялось оборудование физических лабораторий, физика привлекала все большее число людей. Исходя из количества публикаций и людей, занятых в науке, можно проследить ее развитие в мировом масштабе за последние три столетия. Темпы роста современной науки огромны: каждые десять — пятнадцать лет число ученых удваивается. Это означает, как заявил историк физики Дерек Дж. де Солла Прайс, что в наши дни количество ученых составляет «от 80 до 90 процентов всех ученых, когда-либо живших на Земле».

В течение 30-х и 40-х годов центр быстро развивающейся физической науки переместился из Европы в Соединенные Штаты Америки и, в меньшей степени, в Великобританию. Если раньше разговорным языком физиков был немецкий, то теперь им стал английский язык.

Это перемещение началось, когда Гитлер пришел к власти. Установлено, что в промежуток между 1933 и 1938 годами нацисты выслали из Германии почти две тысячи крупных ученых из-за их так называемого неарийского происхождения или политических убеждений. Эрвин Шредингер покинул Берлин в 1933 году, в том самом году, когда вместе с Полем Дираком он получил Нобелевскую премию в области физики. Во время второй мировой войны Шредингер преподавал в Оксфорде, а

* Выдающийся советский ученый П. Л. Капица, который продолжительное время работал у Резерфорда.— *Прим. перев.*

позже в Дублинском институте прогрессивных исследований. Он скончался в Вене в 1961 году.

Макс Борн оказался среди тех самых профессоров, которые неожиданно «подали в отставку» в Геттингенском университете через месяц после прихода Гитлера к власти. Джемс Франк, который некогда проводил опыты вместе с Герцем, также вскоре покинул Германию и уехал в Копенгаген, а оттуда в Соединённые Штаты Америки.

Когда Гитлер сделался канцлером Германии, Альберт Эйнштейн, находившийся в Соединенных Штатах Америки, решил больше не возвращаться к себе на родину. На это нацисты ответили тем, что конфисковали его личное имущество и сожгли книги по теории относительности. Гонения на Эйнштейна приняли узаконенный характер. Не дожидаясь, пока Прусская академия наук исключит его из числа своих членов, Эйнштейн письмом известил о желании выйти из нее. Поговаривают, что он так поступил ради своего друга Макса Планка, который длительное время являлся президентом этой академии и был самым выдающимся ее членом. Планк одним из первых признал работу Эйнштейна, содействовал его переводу в Берлин, защищал от нападок со стороны других немецких ученых. Но Эйнштейн справедливо полагал, что академия в конце-концов непременно вынесет на голосование вопрос о выводе его из числа членов и хотел избавить Планка от необходимости самому совершить этот мучительный акт.

После 1933 года Эйнштейн работал в Принстоне (Нью-Джерси) в Институте высших исследований. Как и другие сотрудники института, он имел возможность полностью посвятить себя исследованиям, так как ему не вменялось в обязанности чтение лекций, проведение семинарских занятий и т. п. Это был именно тот вид договоренности, который когда-то заставил его вернуться в Германию.

Во время второй мировой войны Поль Дирак и Вольфганг Паули работали в том же Принстонском институте, но все последующие годы Паули (которому в 1945 году была присуждена Нобелевская премия за его принцип запрета) преподавал в Цюрихском политехническом институте. Он часто приезжал в США на летние физические конференции, проводимые различными университетами; его дорожные расходы, как правило, оплачивались. Университетские власти знали, что присутствие Паули при-

влечет других выдающихся ученых. «Убедите,— говорили,— приехать Паули, тогда и остальные быстро согласятся».

Как и прежде, физики ехали за критикой. Молодые ученые, подобно старшему поколению, старались превзойти то совершенство формы, которым так славились работы Паули, и, закончив работу, обычно задавали самим себе вопрос: «А что бы сказал о ней Паули?».

Теоретик из Вены внес существенный вклад в ядерную физику. Подобно Гейзенбергу и Дираку, он всеми силами пытался найти универсальную теорию материи. Однажды, в 50-е годы, Паули в сотрудничестве с Гейзенбергом смог, казалось, близко подойти к решению этой проблемы. Приехав в Нью-Йорк, Паули изложил свои идеи перед аудиторией физиков, в числе которых находился и Нильс Бор, часто посещавший США. Когда Паули закончил свое выступление, началась дискуссия. Многие из присутствовавших сочли новую теорию ошибочной, особенно некоторые молодые физики. Когда дискуссия закончилась, Бор подвел ее итоги, напомнив об уроке, извлеченном физиками из теории относительности и квантовой теории в отношении здравого смысла. «Мы все считаем,— сказал Бор,— что ваша теория безумна. Единственно, что нас беспокоит,— достаточно ли она безумна, чтобы быть правильной».

Как впоследствии выяснилось, от этой теории пришлось отказаться, как и от многих других бесплодных попыток. Паули умер в 1958 году, когда тайны ядра, которые он в течение двадцати лет пытался раскрыть, еще не были раскрыты. Он так и не узнал их.

Альберт Эйнштейн скончался в 1955 году, завершив свою работу, которой он посвятил несколько десятилетий. Теория фотона 1905 года появилась в результате огромного желания Эйнштейна каким-то образом объединить атомную теорию о дискретности материи с волновой теорией (или теорией поля) о непрерывном характере излучения. Как мы уже отмечали, его работа в области квантовой теории явилась следствием именно этого желания. После создания общей теории относительности Эйнштейн взялся за усовершенствование своей теории о четырехмерном пространственно-временном континууме, целью которой было объяснить наблюдаемую дискретную природу элементарных частиц и фотонов на основе идеи о непрерывности. Он разработал несколько вариантов тео-

рии единого универсального поля, однако не было обнаружено никаких возможностей ее экспериментальной проверки. Теория не давала никаких предсказаний, которые отличались бы от предсказаний обычных теорий и могли бы быть проверены.

Нильс Бор, как и Эйнштейн, прожил более семидесяти пяти лет. В 1932 году ему во владение был передан замок, который был завещан в пожизненное пользование наиболее выдающимся датским ученым неким богатым пивоваром карлсбергского пива. Поселившись в замке, Бор гостеприимно принимал физиков, которые постоянно приезжали к нему в Копенгаген. «Это была великолепнейшая резиденция,— с восторгом вспоминал один из них.— Там было огромное количество комнат, где стояли грифельные доски». А другой физик, получив однажды приглашение пообедать в замке, решил, что его костюм не соответствует случаю, и появился к всеобщему изумлению, в роскошном мундире. Мундир был «ядовито красного» цвета. Оказалось, что это — форма датских почтальонов, у одного из которых он ее и позаимствовал.

Многие физики, приезжая в Копенгаген в 30-х годах, не возвращались обратно к себе на родину. Они приезжали в ответ на письма Бора, в которых он приглашал их навестить его. Он также предлагал им обдумать целесообразность переезда в Копенгаген для работы ввиду создавшейся в Европе угрожающей ситуации. Один из физиков, который покинул Италию в 1938 году по политическим мотивам, не смог захватить с собой достаточного количества денег. Он занимался исследованиями космических лучей. Вскоре после его приезда в Копенгаген Бор, главным образом ради своего гостя, занялся организацией конференции по данной тематике, пригласив в Копенгаген специалистов из многих стран. Когда конференция закончилась, итальянскому физику передали, что Бор просил его зайти к нему в институт. Понять, что говорит Бор, на этот раз было еще труднее, чем обычно; к великому удивлению итальянца, Бор временами переходил на шепот и явно казался смущенным. Все, что смог уловить его собеседник, это: «...и подойдите, пожалуйста, к моему секретарю за чеком ». Так он и поступил и только тогда узнал, что Бор не только организовал для него конференцию, но оплатил ему и присутствие на ней.

Очень многие ученые получали помощь от Бора, который при этом казался более смущенным, чем они сами;

благодаря его влиянию многие смогли покинуть Европу и получить места в Англии и США. Но далеко не все сочли возможным воспользоваться его любезным приглашением приехать в Копенгаген.

Получив такое приглашение, Макс Планк объяснил одному своему другу, почему не может воспользоваться им: «Во время моих предыдущих приездов,— сказал он,— я чувствовал себя представителем немецкой науки и гордился этим. А теперь мне пришлось бы прятаться от стыда».

Нацисты не только высылали ученых; они пытались украсть у них идеи. «Нацизм — заявил министр образования фашистской Германии,— враг не науки, а только теорий». На теорию относительности и на квантовую теорию был наклеен ярлык «еврейской науки», преподавание их в университетах было запрещено.

Вернер Гейзенберг был одним из немецких ученых, открыто выступавших против такого гонения. Планк, которому в то время было уже за семьдесят, хранил молчание. Было превыше его сил, как объясняли его друзья, превратиться из послушного слуги государства в активного противника, бунтовщика. Вместо гнева он испытывал стыд и чувство долга — долга оставаться на своей родине и пытаться спасти от фашистов «немецкую науку».

Однажды, вскоре после установления нацистского режима, Планк, по-своему храбрый человек, решился вступить в спор с Адольфом Гитлером. Так как Планк был директором Института кайзера Вильгельма, в его обязанности вменялись ежегодные визиты к главе правительства Германии. Он решил воспользоваться случаем и переговорить с Гитлером об одном очень известном химике, который как еврей должен был быть выслан из Германии. Но Гитлер даже не пожелал выслушать возражения Планка. Он заявил, что все евреи «коммунисты» и что ничто не может помешать ему в достижении «великой цели». «Не думайте, что у меня слабые нервы... Все будет выполнено в точности»,— вопил он, обращаясь к аудитории, состоявшей всего лишь из одного старого человека.

Планк, по-видимому, знал о том, что фашисты изменили свою политику в отношении евреев и перешли от их высылки к уничтожению: его сын Эрвин участвовал в антифашистском движении, и, говорят, что благодаря ему отец его был прекрасно осведомлен.

Когда-то у Планка было четверо детей. Однако в 1909 году у него умерла жена, а затем он лишился трех своих сыновей, которые были убиты в первой мировой войне. Остался один Эрвин.

Планк женился вторично и стал отцом еще одного ребенка. Он занимался научной деятельностью, принимал активное участие в работе различных научных обществ, увлекался альпинизмом до глубокой старости. Он был свидетелем ужасных воздушных налетов на Германию в конце второй мировой войны и остался жив, хотя дом его был разбомблен, а он однажды в течение нескольких часов был погребен в бомбоубежище под развалинами дома, в который попала бомба. Его друзья рассказывали, что он сохранял волю к жизни, пока не узнал о судьбе своего сына.

Эрвин был среди заговорщиков, которые в конце войны пытались совершить покушение на Гитлера. Когда, несмотря на тщательно разработанный план, бомба, брошенная в Гитлера, не попала в цель, Эрвин вместе с другими был схвачен и зверски замучен в гестапо.

Узнав об этом, Планк не вымолвил ни слова. Он сел за пианино и начал играть. Позже написал своему другу: «Вы слишком многого ждете от меня, если думаете, что у меня хватит сил вынести эту боль».

Планк скончался в Геттингене в возрасте восьмидесяти девяти лет. Его подобрал здесь в конце войны армейский автомобиль, посланный американцами, когда они узнали, что дом у реки Эльбы, в котором Планк нашел временное пристанище, разрушен, а сам он «выброшен на берег» между наступающими армиями союзников и отступающими фашистами.

Вернер Гейзенберг также отказался принять приглашение Бора. Он, как и Планк, считал, что его долг — оставаться на родине и пытаться защитить «немецкую науку» от фашистов. Во время войны он возглавил германский научный проект, целью которого было сооружение уранового котла * (а точнее создание атомной бомбы из вещества, которое могло быть получено в таком котле). Пока союзники не вступили на территорию Германии, никто не имел представления, достигли ли немцы определенных успехов в создании атомной бомбы или нет. Физики других стран знали, что такой проект существует,

* Так раньше называли атомный реактор.— *Прим. перев.*

а зная, боялись возможного исхода — появления в арсенале фашистов атомной бомбы.

Подгоняемая этим страхом, группа физиков, эмигрировавших из Европы в Соединенные Штаты Америки, обратились к Альберту Эйнштейну с просьбой написать президенту Рузвельту письмо, в котором следовало объяснить, что атомная энергия может быть использована для разрушительных целей, и предупредить, что немецкие ученые почти наверняка работают над созданием атомного оружия. Эти физики, вместе со многими другими, начали работать в Америке над проектом создания атомной бомбы, который был утвержден в результате их объяснений и предупреждений.

В 1943 году к ним присоединился Нильс Бор. В то время Дания была уже оккупирована фашистами, и когда начались массовые аресты «неарийцев», над Бором, у которого мать была еврейка, нависла опасность. Датская подпольная организация помогла ему скрыться и, как многим другим, перейти через границу. Сначала он перебрался на маленьком рыбацком суденышке в Швецию, а оттуда перелетел в Англию. После его исчезновения эсэсовцы явились в Копенгагенский институт и перерыли все бумаги (в присутствии секретаря Бора, который тщетно умолял их быть осторожнее и ничего не трогать). Повидимому, они разыскивали научные секреты, имеющие оборонное значение, однако нашли лишь письма, адресованные Бору его другом профессором Гейзенбергом из Германии. Война разлучила их обоих, но дружба, хотя и подверглась испытаниям, не прекратилась.

Подобный пример не является исключением. Так, физик Сэм Гаудсмит в конце войны был направлен правительством Соединенных Штатов Америки в Германию со специальной секретной миссией — изучить, какая научная работа проводилась там во время войны, и арестовать ее исполнителей. Гоудсмит не рассматривал всех немецких ученых и каждого из них в отдельности как своих личных врагов, хотя родители самого Гаудсмита, жившие в Дании, были среди тех, кто «исчез» в фашистских концлагерях. Увидев Гейзенберга сразу же после его ареста другими представителями американской миссии, Гаудсмит сказал: «Сердечно приветствую моего старого друга и коллегу».

Когда Нильс Бор появился в Англии, ему рассказали об успехах, достигнутых в США в деле создания атомной

бомбы. Роберт Оппенгеймер, бывший директор Лос-Аламосского отделения проекта (Нью-Мексико), сказал, что с самого начала англичане принимали самое деятельное участие в проекте, «гораздо большее, чем считают в Англии». Узнав о том, что работы по созданию атомной бомбы близятся к концу, Нильс Бор не мог не задуматься над тем, к каким последствиям приведет факт существования атомного оружия в будущем, когда война уже закончится. Совершенно неизбежно, что СССР узнает, как делать атомные бомбы. Научные секреты невозможно сохранить в тайне; если ученые одной страны создадут атомную бомбу, ее сделают и ученые другой страны с достаточно развитой техникой.

Бор был знаком со многими русскими учеными, был в курсе политической обстановки в этой стране, знал и о настроениях на Западе, которые в будущем не сулили ничего хорошего. В отличие от некоторых других оптимистически настроенных людей он не считал, что СССР и западные державы, которые сделались во время войны союзниками, смогут легко сохранить дружеские отношения и после окончания войны. Между различными политическими и экономическими системами, считал он, непременно возникнут разногласия, создастся напряженная международная обстановка, особенно опасная в том случае, если СССР и США будут вооружены атомными бомбами. Поэтому Бор считал необходимым немедленно начать с Советским Союзом переговоры об установлении контроля над новым оружием до того, как возрастет послевоенная напряженность в отношениях Востока и Запада, до того, как оружие будет создано, прекрасно понимая, что это лишь усложнит обстановку. Следовало создать международную инспекционную систему и поделиться с СССР сведениями об атомной энергии. Однако он считал, что подобный дар, помимо прочего, принесет выгоду самим Соединенным Штатам Америки, ибо Советский Союз, оказавшись для своего же блага в ситуации, когда преграды между странами падут и появится возможность свободного обмена информацией, не останется таким, как прежде. Другими словами, напряжение между Востоком и Западом должно вырасти впоследствии в проблему, и, говоря словами Роберта Оппенгеймера, Бор «хотел заблаговременно сузить рамки, за которые такая проблема могла выйти, и тем самым ликвидировать ее полностью».

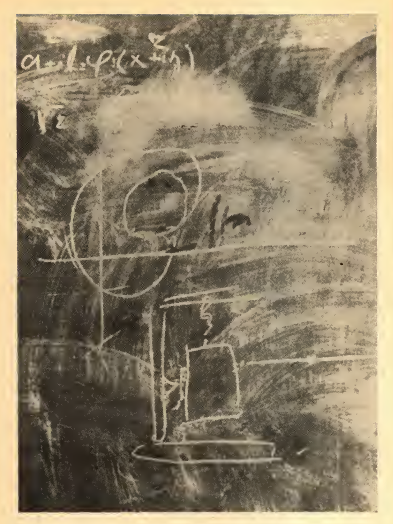
Между тем в Англии Бор пытался убедить премьер — министра Черчилля и его советников в необходимости немедленных переговоров с Советским Союзом, с той же целью он в 1943 году приехал в США. Здесь он принял участие в Лос-Аламосском атомном проекте, однако не это являлось основной причиной приезда Бора в Америку.

История о том, как Бор первым привез в Соединенные Штаты известие об открытии деления атомов (эксперименты, проведенные в Германии и объясненные в Швеции), неоднократно описывалась на страницах книг. Не так хорошо известна история о том, как Бор пытался предотвратить возможное следствие своего открытия: его меморандумы и визиты к политическим и военным советникам президента Рузвельта, а после смерти последнего — президента Трумэна; его открытые письма в лишь недавно созданную Организацию Объединенных Наций.

После создания атомной бомбы и окончания второй мировой войны деятельность Бора, как и многих других физиков, носила как научный, так и политический характер. Его предложения не были приняты. Он пришел к мысли, что международный контроль атомного (а затем и термоядерного) оружия не станет реальностью до тех пор, пока не будет смягчена напряженность в отношениях между Востоком и Западом. Свободный обмен научной информацией между учеными разных стран является необходимым условием, полагал он, для роста взаимного доверия. Бор выступал за уничтожение национальных барьеров, за возможность свободно перемещаться и обмениваться научными идеями и информацией. Когда границы между странами исчезнут, считал он, наука начнет играть ведущую роль, ибо в науке, как ни в чем другом, национальные интересы не должны иметь места, они должны быть атрофированы. Ученые объединятся в единую интернациональную семью.

Вплоть до самой своей смерти, последовавшей в 1962 году, Бор принимал активное участие в работе различных научных организаций, стараясь всеми силами укрепить родственные узы этой семьи. Одновременно он продолжал возглавлять Копенгагенский институт теоретической физики. Сейчас его преемником является один из его сыновей — Оге Бор, тоже физик.

Последнюю главу хотелось бы закончить кратким рассказом о наших главных героях — Нильсе Боре и Альбер-



Фотография грифельной доски в рабочем кабинете Бора в Карлсбергском замке, на которой изображена упрощенная схема эйнштейновского ящика со светом. Бор начертил ее вечером за несколько часов до смерти, во время беседы, когда он объяснял и развивал свои идеи.

те Эйнштейне. Обоим в 1948 году довелось работать вместе в Принстонском институте высших исследований. Бор, приехав в Америку, занял кабинет Эйнштейна. (Эйнштейну не понравился предоставленный в его распоряжение просторный кабинет, и он перебрался в соседнюю комнату, которая предназначалась для его заместителя.) В кабинете Эйнштейна Бор принялся работать над статьей, посвященной его дискуссии с Эйнштейном.

Прошло уже двадцать лет с тех пор, как они впервые начали спор о проблемах квантовой механики, однако дискуссия между ними все еще продолжалась. За несколько лет до своего приезда в Америку Бор еще раз пытался убедить своего упорного противника, но все так же безрезультатно. После продолжительного спора датчанин разыскал одного своего близкого друга и сказал с горечью и отчаянием: «Я устал от самого себя».

Однако теперь, в кабинете Эйнштейна, Бор снова пытался восстановить в памяти все аргументы, которые он выдвигал в дискуссии с Эйнштейном, снова старался точно изложить свои мысли. Описывая многочисленные встречи с Эйнштейном по этому поводу. Бор хотел, как он однажды сказал, показать, «скольким я ему обязан за его вдохновляющие идеи», а также «сообщить более широким кругам о том, насколько полезен открытый обмен мнениями...».

Он был целиком погружен в работу над статьей, когда Абрахам Пайс, сотрудник института, заглянул к нему в комнату. Бор, наклонив голову, нахмурив брови, неистово вышагивал вокруг стола в центре комнаты, рассказывал Пайс.

— Не будете ли вы так любезны, Пайс, помочь мне? — спросил Бор. Не запишете ли несколько мыслей, которые мне пришли в голову?

Пайс согласился и, сев за стол, приготовил бумагу и карандаш, а в это время Бор продолжал описывать круги вокруг стола, время от времени тихо роняя отдельные слова.

Диктовка затянулась: часто Бор повторял одно и то же слово. «Он имел привычку задерживаться на каком-нибудь слове,— вспоминал Пайс,— повторяя его, старался найти дополнительные аргументы». В тот день одним из таких слов было «Эйнштейн». Глубоко задумавшись, Бор ходил вокруг стола, повторяя: «Эйнштейн... Эйнштейн».

Аргументы, которые он искал, никак не приходили ему на ум. Подойдя к окну, он выглянул на улицу, все продолжая повторять: «Эйнштейн, Эйнштейн».

В этот момент Пайс заметил, как дверь в комнату начала потихоньку открываться. Открылась она совсем бесшумно — Бор так ничего и не услышал,— и в комнату на цыпочках вошел... Эйнштейн.

— Появившись,—рассказывал Пайс,—Эйнштейн кивнул мне и с ребячливой улыбкой прижал палец к губам.

Очень осторожно он приблизился к столу, за которым сидел Пайс.

В тот же момент Бор, все еще ничего не замечая и продолжая, высунувшись из окна, шептать «Эйнштейн», по-видимому, наконец поймал ускользавшую от него мысль и, твердо произнеся «Эйнштейн», обернулся.

— Они оказались,— рассказывал Пайс,— лицом к лицу.

При виде этого сверхъестественного воплощения своих мыслей в действительность, этого духа, которого он вызвал — неукротимого Эйнштейна — Бор буквально потерял дар речи.

И тут Эйнштейн наконец объяснил, что зашел за табаком. Доктор запретил ему курить, однако, как заметил Эйнштейн, он запретил ему лишь покупать табак, но не воровать его — в данном случае табак, который Бор обычно держал на столе в своем кабинете.

Чары рассеялись, и «мы все покатились со смеху».

Дополнение

Всегда познавайте предмет в противоречиях. Вы обнаружите при этом, что существует постоянный заговор, имеющий целью преподать тот же предмет догматически и односторонне.

Бернард Шоу

Настоящее издание книги Барбары Ловетт Клайн дополнено этой главой, написанной, подобно главе девятой, в форме диалога между двумя вымышленными физиками — Ортодоксовым и Иноверцевым. Первый из них отстаивает как окончательное понимание квантовой механики, достигнутое физиками к 1930 году. Другой, веря в вечный процесс обновления и углубления научных теорий, доказывает возможность дальнейшего развития интерпретации квантовой механики. В ходе этой беседы разъясняются вопросы, которые либо совсем не нашли отражения в книге Б. Клайн, либо получили весьма одностороннее освещение.

Иноверцев: Я рад, что мы сможем с тобой сегодня подробно обсудить вопрос о полноте и окончательности установившихся в современной физике основных воззрений. Но прежде я хочу поблагодарить тебя за присланную мне книгу Барбары Клайн. К предстоящему разговору она действительно имеет непосредственное отношение.

Ортодоксов: Спасибо! Я тоже рад нашей встрече и возможности обменяться мнениями о значении установившихся ранее фундаментальных представлений для дальнейшего развития современной физики.

Итак, насколько я понял, тебе понравилась эта книга?

* Глава пятнадцатая написана проф. д-ром физ.-мат. наук А. А. Тяпкиным.

Иноверцев: Да, конечно! Мне было очень интересно и полезно совершить экскурсию по физическим факультетам и институтам начала нашего века, почувствовать ту необыкновенную атмосферу творческого поиска, в которой возникли самые смелые за всю историю физики идеи и постепенно выкристаллизовались строгие научные представления о незримом атомном мире. Ты знаешь, мы, современные физики, хорошо знакомы со всеми последовательными этапами формирования квантовомеханических представлений, но почти ничего не знаем о жизни создателей этих представлений и той научной атмосфере, в которой небольшая группа физиков буквально взламывала, казалось бы, незыблемые устои классической физики.

Ортодоксов: Вполне с тобой согласен и считаю, что мы должны быть благодарны журналистке Барбаре Ловетт Клайн за ее большой труд литературного воспроизведения удивительной и захватывающей картины той неповторимой эпохи, когда природа под натиском первых же экспериментальных исследований предельно обнажила такие явные противоречия с существовавшими тогда физическими представлениями, что стала очевидной их полная непригодность как для объяснения атомных явлений, так и для построения единого фундамента всего здания физической науки. Природа как бы сама объявила для гениев того времени конкурс на разгадку конкретных тайн строения атома, гарантируя в качестве награды вновь созданные теоретические принципы положить в основу всего строения физической науки.

Физикам последующих поколений остается только завидовать участникам этого неповторимого конкурса на радикальную перестройку всего фундамента физики. Перед нами простираются безграничные перспективы пополнять этот фундамент новыми теоретическими открытиями, но никак не перестраивать его заново.

Кстати, а как ты считаешь, сможет ли книга Барбары Клайн вызвать такой же живой интерес среди читателей, далеких от физики?

Иноверцев: Ну, прежде всего я не предсказываю одинаковой реакции самих физиков на эту весьма интересную книгу. Среди огромной армии физиков, участвующих в сегодняшнем штурме вершин этой науки, к сожалению, немногие интересуются историей формирования современных физических воззрений. Экспериментаторы

и теоретики, работающие непосредственно в области физики элементарных частиц, так глубоко погрузились в свои повседневные заботы, связанные с созданием и наладкой сложнейшей современной физической аппаратуры, с исследованиями конкретных ядерных реакций или с проведением специальных теоретических расчетов, что даже не задумываются над конечной целью своей деятельности, имеющей, я уверен, самое прямое отношение к предстоящему дальнейшему коренному пересмотру представлений современной физики на основе открытия необычных закономерностей в мире элементарных частиц. Думаю, что книга Барбары Клайн напоминанием недалекого прошлого физики поможет ученым более полно оценить свою повседневную деятельность и осознать причастность к вечному процессу обновления самых фундаментальных представлений о мире.

Конечно, захватывающая история прошедшей в физике смены ее основных воззрений не может не заинтересовать и многих людей, далеких от физики. Но особенно полезна книга для любознательной молодежи. Думаю, что молодым людям со смелым и самостоятельным образом мышления эта книга подскажет выбрать путь именно в физику, где им представится в дальнейшем самая широкая возможность испробовать свои силы в разгадке наиболее сокровенных тайн природы.

Ортодоксов: Значит, ты полагаешь, что описанная в книге ситуация должна вновь повториться?

Иноверцев: С твоим утверждением о неповторимости прошедшей эпохи формирования основных физических воззрений я согласен только в отношении неповторимости самой специфической обстановки возникновения новых идей, преобразовавших представления классической физики. Однако сам процесс преобразования основных физических представлений должен происходить каждый раз как неизбежное следствие изучения новой, совершенно обособленной области физических явлений. Уверен, что специфичность такой фундаментальной области интенсивно исследуемых ныне физических явлений, как физика элементарных частиц, служит надежной гарантией неизбежности радикальной перестройки существующих воззрений.

Ортодоксов: И все же, несмотря на это, нынешние открытия в теоретической физике вовсе не преобразуют, а лишь дополняют существующий фундамент физики.

Чтобы убедиться в этом, достаточно проанализировать, например, самые выдающиеся теоретические работы последних лет, удостоенные Нобелевских премий. Нельзя игнорировать также и тот факт, что сегодняшние затруднения в теоретической физике вообще не носят характера явного противоречия с существующими представлениями квантовой механики и теории относительности.

Иноверцев: Это верно. Но противоречия все-таки существуют, хотя и в недостаточно явном виде. Просто они маскируются либо невозможностью проведения теоретических расчетов наблюдаемых эффектов, либо явной несуразностью получаемых из теории величин, например бесконечных величин масс элементарных частиц. Но ведь и вычисления на основе классической механики приводили к явно несуразному выводу о невозможности существования стабильных состояний атомов. Между прочим, проводимые в современной квантовой электродинамике так называемые операции перенормировки по искусственному характеру их введения и инородности их всему остальному теоретическому базису очень уж напоминают начальный, боровский этап развития неклассических представлений современной физики.

Что же касается явности проявления противоречий между новыми научными данными и существующими представлениями, то она в значительной мере определяется и степенью завершенности этих последних представлений.

Ортодоксов: Да, с этим, конечно, можно согласиться.

Иноверцев: Но тогда ты должен признать и правомерность вопроса: не свидетельствует ли отсутствие явно сформулированных противоречий между теоретическими представлениями, заимствованными из области атомных явлений, и новыми экспериментальными фактами физики элементарных частиц, при полной беспомощности их теоретического объяснения, об особой, замаскированной неполноте современной квантовой теории в области ее непосредственного применения?

Ортодоксов: Если я правильно понял, ты собираешься подвергнуть сомнению давно и окончательно решенный вопрос о полноте квантовомеханического описания.

Иноверцев: Ну, а скажи мне, разве могла бы возникнуть речь о противоречии с экспериментальными фак-

тами в области атомной физики и необходимости поиска новой теории, если бы классическая механика в то время формулировалась в виде некоторого операционалистического построения, подобного составленному для машиниста руководству о движении паровоза?

Ортодоксов: Не понимаю, почему нужно обсуждать такую нереальную ситуацию?

Иноверцев: Да, в том-то и дело, что ортодоксальная формулировка квантовой теории, об исчерпывающей полноте которой ты так уверенно говоришь, больше напоминает инструкцию или руководство, составленное для экспериментальной проверки квантовой теории, чем описание самих квантовых явлений.

Ортодоксов: Но для явлений атомного масштаба, исследуемых макроскопическими приборами, эта единственная приемлемая форма описания. Что же касается вопроса об исчерпывающей полноте квантовомеханического описания, то он был окончательно решен в дискуссии Н. Бора с А. Эйнштейном, и я не думаю, что наше обсуждение могло хоть что-нибудь добавить к этому уже решенному спору двух титанов человеческой мысли.

Иноверцев: Я понимаю твою безграничную веру в авторитеты. Однако я хотел бы заметить, что есть только один способ следовать примеру великих преобразователей науки: постоянно вести поиск коренных изменений существующих представлений. А для этого необходимо подвергать сомнению и строгому анализу на основе новейших данных все установившиеся понятия.

Кроме того, отрицание возможности дальнейшего углубления квантовой теории вообще противоречит нашим представлениям о процессе познания.

Ортодоксов: С этим я не могу согласиться. Утверждение о полноте квантовой механики давно превратилось в окончательно установленную истину. А с существованием такого рода истин, как тебе известно, считается и диалектическое учение об относительности наших научных знаний. В своей книге «Материализм и эмпириокритицизм» В. И. Ленин, обсуждая диалектику соотношения относительной и абсолютной истины, выделяет в особый разряд «вечных истин» такого типа утверждения, как «Наполеон скончался 5 мая 1821 года». Без утверждений типа «Волга впадает в Каспийское море» не обходится и научная теория.

В физике и математике подобных окончательных истин сколько угодно. К ним, например, принадлежит следующее строгое утверждение: из множества допустимых для инерциальных систем координат пространственно-временных преобразований существуют всего только два вида преобразований, образующих математическую группу. Это группы преобразований Галилея и Лоренца. И сколько бы ты ни говорил о бесконечности процесса познания и невозможности на каждом этапе этого процесса получения окончательно установленных истин, третья группа не появится ни через десять, ни через сто лет, потому что уже сейчас строго и окончательно доказана возможность существования только двух групп преобразований. К окончательным истинам принадлежит и утверждение, что из двух возможных преобразований, образующих группу, только группа Лоренца при больших скоростях движения отвечает реализующимся в природе пространственно-временным соотношениям.

Иноверцев: Прежде всего я хотел бы заметить, что ссылка на конкретные слова В. И. Ленина правомерна и плодотворна может быть только в том случае, если используется в соответствии со всей логикой его последовательного учения о материалистической теории познания. В вопросе об истине возможны различного типа классификации, которыми следует пользоваться, учитывая это обстоятельство, т. е. не противопоставляя определения, относящиеся к различным классификациям. Так, понятие абсолютной и относительной истины исчерпывает все возможности в соответствующей им классификации. Совсем другие характеристики мы имеем в виду, пользуясь понятиями объективной и необъективной истины. Поэтому, говоря о приближенности, относительности всякой истины в научном познании природы, В. И. Ленин подчеркивает и ее объективность.

Каждая научная теория, проверенная практикой, является правильной в том смысле, что она выражает, хотя и приближенно, определенные свойства объективно существующего мира. Существование так называемых «вечных истин» как утверждений, справедливых в рамках своего конкретного содержания, наглядно иллюстрирует простейшие примеры объективных истин. Поэтому вечные истины ни в коем случае нельзя противопоставлять относительности любых научных знаний, выдавая их за частные примеры будто бы достигнутых абсолют-

ных истин. Любая вечная истина является в то же время и относительной. Учение об относительности научных знаний в свете неисчерпаемости процесса познания любого объекта должно трактоваться как возможность неограниченного уточнения или дополнения установленных научных истин. Как бы ни было справедливо какое-либо конкретное утверждение, его всегда можно дополнить новыми сведениями. Утверждение о смерти Наполеона может быть развито как за счет уточнения содержащихся в нем количественных характеристик о месте и времени смерти (остров Святая Елена, местечко Лонгвуд, год, день, час, минута и т. д. смерти), так и за счет расширения самого содержания данного утверждения установлением обстоятельств и, наконец, причин последовавшей смерти. На этом примере, по-моему, особенно наглядно видна неисчерпаемость абсолютной истины как бесконечно точной и всеобъемлющей.

Твое утверждение о существовании только двух математических групп преобразований пространственно-временных координат также относительно. Но, конечно, не в смысле его опровержения открытием третьей группы, а в смысле его невсеобъемлющей полноты. И уже совсем явно требует дополнительных разъяснений затронутый тобой вопрос о реализации в природе соотношений только группы Лоренца.

Ортодоксов: Послушай, не стоит терять зря времени. Я, конечно, согласен, что любое утверждение может быть дополнительно развито за счет расширения его первоначального содержания. Но мне, в конечном счете, важно, что ты согласился с существованием утверждений, абсолютно истинных в рамках своего конкретного содержания.

Иноверцев: Утверждения, истинные в таком конкретном смысле, конечно, существуют, но к ним не могут относиться утверждения, отрицающие возможность дальнейшего развития наших относительных знаний о каком-либо предмете. А ведь в качестве такой окончательно установленной конкретной истины ты пытался представить утверждение о невозможности дальнейшего существенного развития понимания квантовомеханических закономерностей. В то же время неполнота и несовершенство современной формулировки квантовой механики с очевидностью следуют хотя бы из того факта, что мы не в состоянии дать последовательное описание кван-

товых явлений, происходивших в доисторические времена, когда некому было проводить измерения, а атомы, тем не менее, излучали и поглощали кванты света.

Что же касается конкретных истин, то, несмотря на простоту содержания утверждения, его справедливость нередко имеет ложную очевидность. Взять хотя бы приведенный тобой пример очевидной конкретной истины — «Волга впадает в Каспийское море». Но Волга по дороге к морю сливается с множеством других рек и в том числе с полноводной Камой. Относительно определения основной и впадающей рек существует строгое правило, согласно которому следует считать впадающей рекой ту, которая в месте слияния несет меньше воды. Так вот, когда были проведены систематические измерения, то вопреки ожиданию, оказалось, что в течение года Кама приносит больше воды, чем Волга. Следовательно, согласно строгому определению, Кама, а не Волга впадает в Каспийское море.

С установлением истинности утверждения о смерти Наполеона дело обстоит не лучше. Известно, что англичане на основе точных радиационных измерений обнаружили мышьяк в волосах Наполеона, установив тем самым факт длительного и постепенного его отравления. Сопоставив этот факт с известными странностями в поведении Наполеона в последний год его жизни, они пришли к версии о смерти на острове Святой Елены 5 мая 1812 года двойника Наполеона. Так что в приведенном утверждении все может оказаться верным, кроме основного — что это был Наполеон.

Ортодоксов: Да, это действительно забавно. Приведенные мною классические примеры конкретных безусловных истин оказались спорными и даже курьезными. Я теперь вижу, что более удачными оказались примеры вечных истин из области теории относительности.

Иноверцев: К сожалению, должен тебя огорчить. Говоря о преобразованиях координат, подверждаемых экспериментами при больших скоростях движения, ты затронул весьма сложный вопрос, в котором официальная наука заблуждалась вплоть до последнего времени. Я имею в виду проблему соотношения геометрии и опыта, которая особенно серьезно стала обсуждаться в конце прошлого века в связи с попытками по наблюдению параллакса удаленных звезд установить, какая из гео-

метрий выполняется в природе. Хорошо известна точка зрения на этот вопрос знаменитого французского математика и физика-теоретика Анри Пуанкаре. Он в самой категорической форме отрицал возможность на опыте проверить истинность какой-либо геометрии. В книге «Наука и гипотеза» он писал, что независимо от того, каков будет результат эксперимента по наблюдению параллакса звезд, он всегда может быть истолкован как в евклидовой, так и в любой неевклидовой геометрии. Для этого потребуется лишь соответствующим образом изменять законы оптики. Противоположную точку зрения Пуанкаре считал эквивалентной несуразному утверждению о том, что существуют длины, которые можно измерять в туазах и футах и нельзя измерять в метрах и сантиметрах. Выбор геометрии как системы метризации пространства и времени, по мнению Пуанкаре, должен производиться на основе условного соглашения, конвенции, исходя из соображений практического удобства. Между прочим, сам он считал наиболее целесообразным и удобным сохранение евклидовой геометрии.

Ортодоксов: Но, если я не ошибаюсь, Эйнштейн не согласился с этой точкой зрения Пуанкаре и на примере общей теории относительности показал, что только введение неевклидовой геометрии пространства — времени позволяет построить единственно правильную релятивистскую теорию тяготения.

Иноверцев: Да, Эйнштейн исключал возможность тождественного описания тех же явлений на основе евклидовой геометрии, и его мнение на многие десятилетия утвердилось в науке в качестве окончательно установленной истины. И только в последние годы была доказана ошибочность этой официально принятой в науке точки зрения. В нескольких работах была создана релятивистская теория тяготения в прямом, евклидовом пространстве — времени, которая оказалась совершенно тождественной эйнштейновской теории. Как видишь, в науке опасно безоговорочно следовать так называемым окончательно установленным истинам.

Ортодоксов: Но, с другой стороны, в науке не будет никакого продвижения вперед, если не опираться на твердо установленные истины и без конца все подвергать сомнению.

Иноверцев: Это верно. Разумный консерватизм крайне необходим для сохранения уже завоеванных в

науке позиций. Но при этом консерватизм в ряде случаев неизбежно распространяется и на возникшие в ходе научных исследований заблуждения, от которых нет другого способа избавиться, кроме осуществления постоянной проверки всех основных исходных положений, используемых в новых теоретических построениях. Особенно важно подвергать такой проверке те давно установленные положения, по которым раньше имелись расхождения в мнениях среди крупнейших научных авторитетов. Так что речь идет о разумном скептицизме, позволяющем по-новому взглянуть на прежние решения спорных вопросов. Я думаю, такой анализ должен непременно установить определенные аспекты обсуждаемой проблемы, которые правильно решались каждой из спорящих сторон. Так, Пуанкаре оказался прав только в своем исходном утверждении о возможности использования любой геометрии для описания одних и тех же явлений. Его же уверенность в удобстве сохранения евклидовой геометрии вовсе не подтвердилась дальнейшим развитием науки. Пуанкаре, кроме того, приходил к ошибочному выводу, отрицающему объективное содержание геометрии.

Ортодоксов: Совершенно верно. Именно за этот философский конвенционализм он подвергся справедливой критике в работе В. И. Ленина. Однако как же все-таки можно избежать этой философской ошибки, если исходное положение Пуанкаре оказывается справедливым?

Иноверцев: Это весьма тонкий вопрос, на выяснение которого было потрачено немало усилий. Дело в том, что если отказаться от использования кривизны пространства — времени, соответствующей неевклидовой геометрии, то для согласования с опытом мы должны вводить универсальные силы и соответствующие им всеобщие кинематические эффекты. То есть в этом случае приходится не только менять законы оптики, как это предсказывал Пуанкаре, но и вносить всеобщие изменения в законы движения любых материальных объектов.

Ортодоксов: Постой, насколько я помню, известный американский философ Ганс Рейхенбах обращал внимание на возможность установления единственного определенного взаимосоотношения между геометрией и физикой на основе условия обязательного исключения из физики универсальных сил.

Иноверцев: Совершенно верно. Но другие ученые вскоре обратили внимание, что принятие такого условия есть определенная конвенция, условное соглашение. Поэтому проблема была решена несколько иным путем: просто, наконец, было осознано, что введение универсальных сил и соответствующих им кинематических эффектов и есть одна из возможных форм учета свойств реального пространства — времени. Следовательно, конвенция в этом случае определяет лишь форму описания этих свойств и вовсе не препятствует их однозначному установлению на опыте.

Таким образом, физический опыт действительно не решает вопроса о справедливости той или иной геометрии. Однако он позволяет выяснить, какая из геометрий наиболее полно описывает известные нам свойства пространства — времени.

Ортодоксов: Ну что же, это весьма мудрое решение проблемы, оно, насколько я понял, не касается специальной теории относительности Эйнштейна.

Иноверцев: Нет, это неверно. И в рамках специальной теории относительности мы находим подтверждение исходного положения Пуанкаре. Но для объяснения конвенционального характера построения этой теории мне придется напомнить тебе, что С. И. Вавилов, проанализировав в свое время известные тогда предложения экспериментального сравнения скорости распространения света в двух противоположных направлениях, показал их несостоятельность и пришел к выводу о принципиальной невозможности экспериментального доказательства равенства этих скоростей. С другой стороны, как тебе известно, специальная теория относительности непосредственно исходит из равенства этих скоростей, которое не является экспериментально проверяемым фактом.

Таким образом, принятое в теории понятие одновременности для событий, происходящих в различных точках пространства, основано на конвенциональном выборе равенства скоростей света в противоположных направлениях.

Ортодоксов: Подожди, но прав ли был С. И. Вавилов в своем выводе? Разве действительно невозможно установить факт равенства скоростей света?

Иноверцев: Да, Вавилов оказался совершенно прав, хотя он и не доказал в общем виде своего вывода. Эта работа незаслуженно была предана забвению, и, по

крайней мере в среде физиков, не был выяснен конвенциональный характер принятого критерия одновременности. Более того, в последние годы в самых авторитетных журналах были опубликованы без тени сомнения новые предложения по использованию современных технических средств для экспериментального сравнения скоростей распространения света в противоположных направлениях. Появление этих ложных в своей основе публикаций служит наглядным доказательством ограниченности существующего понимания самой простой из теорий, составляющих фундамент современной физики.

Лишь в некоторых философских работах из факта отсутствия в природе бесконечной скорости передачи взаимодействия делался правильный вывод об условности принятого в теории относительности критерия одновременности событий. Однако и эти авторы не обратили внимания на то важнейшее обстоятельство, что допустимый произвол в выборе критерия одновременности позволяет использовать самые различные определения и в том числе единую одновременность для различных инерциальных систем координат, соответствующую преобразованиям Галилея.

Ортодоксов: Любопытное утверждение. Не хочешь ли ты этим сказать, что можно описать релятивистские эффекты специальной теории относительности, пользуясь преобразованиями Галилея?

Иноверцев: Вот именно. В полном согласии с утверждением Пуанкаре оказалось возможным вместо преобразований Лоренца, определяющих псевдоевклидову метрику, применять преобразования Галилея для совершенно тождественного описания тех же наблюдаемых на опыте результатов. Кстати, именно в такой форме в почти законченном виде теория относительности была представлена в работе Лоренца 1904 года. Хотя для движущейся системы координат Лоренц постулировал, казалось бы, совершенно другие динамические законы, тем не менее все предсказания наблюдаемых эффектов в его теории полностью совпадали с предсказаниями созданной затем Пуанкаре и Эйнштейном другой формы представления той же теории. Лоренцу следовало бы только рассмотреть кинематический аспект его теории, чтобы понять полную равноправность различных систем координат, обусловленную сохранением кинематического подобия в соотношениях между физическими процессами в

разных системах отсчета. К сожалению, ни самим Лоренцом, ни другими физиками не была осознана в полной мере тождественность двух форм построения теории относительности, отличающихся лишь принятием различных конвенций относительно одновременности событий в пространственно разделенных точках.

Ортодоксов: Объясни мне, что ты называешь кинематическим подобием физических процессов?

Иноверцев: Пожалуйста. Если ты пользуешься единой для различных систем отсчета одновременностью классической механики, то только в одной, исходной системе координат имеется возможность принять равенство между скоростями распространения физических процессов в прямом и обратном направлениях. В системе, движущейся относительно исходной, скорость распространения света в направлении движения системы отличается от скорости распространения в противоположном направлении на удвоенную величину скорости движения системы. Так вот, для согласования с принципом относительности необходимо только предположить, что в этой системе отсчета и для скоростей распространения всех других физических процессов имеет место соответствующая асимметрия, обеспечивающая сохранение между кинематическими характеристиками различных процессов таких же соотношений, как и в исходной системе координат для аналогичных физических процессов. Это и есть кинематическое подобие. Необходимость же введения универсальных кинематических изменений при использовании преобразований Галилея и означает их неполноту соответствия пространственно-временным свойствам реального мира, которые находят непосредственное выражение в преобразованиях Лоренца.

Ортодоксов: Но в таком случае принципиальная возможность использования старых пространственно-временных преобразований не имеет особой научной ценности.

Иноверцев: Это неверно. Весьма важно первоначально формулировать проблему именно в рамках такого подхода и только затем, после выявления общих изменений кинематического описания различных физических процессов, осуществлять переход к новой формулировке этих кинематических эффектов непосредственно на основе новой метрики пространства — времени. В этом случае наглядно выявляется, какие именно универсаль-

ные свойства движения учтены новой метрикой пространства — времени. Таким образом, для понимания сущности теории принципиально важно последовательное применение обоих подходов.

Поскольку мы подробно остановились на обсуждении специальной теории относительности, я хотел бы обратить твое внимание на историческую несправедливость возникшего общественного мнения о создателях этой теории, которое в полной мере нашло отражение и в книге Барбары Клайн.

Ортодоксов: Да, я заметил, что создание специальной теории относительности она целиком приписала одному Эйнштейну. Б. Клайн даже не упомянула имени Лоренца и Пуанкаре.

Иноверцев: Самое неприятное, однако, состоит в том, что необъективное освещение вклада этих ученых в создание теории относительности характерно для подавляющего большинства популярных книг и даже учебных пособий, среди которых буквально тонут попытки отдельных ученых восстановить историческую справедливость. Теперь строго доказано, что работа Лоренца 1904 года не просто предшествовала созданию специальной теории относительности, но и полностью содержала, тогда еще в неосознанном виде, одну из конвенциональных форм описания теории. Но это было выяснено в последние годы, и широкой научной общественности неизвестно о такой оценке вклада Лоренца в создание теории относительности.

Гораздо труднее объяснить возникновение и упорное сохранение в общественном мнении явной недооценки вклада Пуанкаре, который был не только предшественником Эйнштейна, но и создателем теории относительности в той строгой математической форме, которую физики-теоретики в полной мере оценили лишь в последующие годы.

В 1902 году в книге «Наука и гипотеза» Пуанкаре впервые формулирует постулат относительности как всеобщий принцип для всех физических явлений. Статья же, написанная в 1905 году, в ряде аспектов превосходила не только содержание статьи Эйнштейна 1905 года, но и статьи Минковского 1907 года.

Ортодоксов: В чем же ты видишь причину явной недооценки вклада Пуанкаре широкой научной общественностью?

Иноверцев: Это настолько странное явление, что его трудно в полной мере объяснить и целым рядом имевшихся причин. Прежде всего высокий уровень изложения на основе формулировки групповых свойств преобразований Лоренца явно затруднял понимание новой теории физиками, многие из которых тогда, на заре зарождения специальности физика-теоретика, еще не имели достаточной математической подготовки. Кроме того, статья Пуанкаре была опубликована в математическом журнале, и написана она была в весьма скромном виде, будто бы он лишь незначительно развивал математическую сторону физической теории, построенной Лоренцом.

С другой стороны, статья Эйнштейна 1905 года была написана в такой форме, что оставалось совершенно неясным, что именно было заимствовано им из других работ и что развито самостоятельно. Эта статья просто не содержала в явном виде ни одной ссылки на другие работы. Указанные особенности написания этих статей значительно облегчали задачу сторонников тенденциозного приписывания создания теории одному Эйнштейну.

Разве не удивительно, что признание в первую очередь получила работа молодого и мало известного тогда инженера из патентного бюро, а не работа крупнейшего математика и физика, профессора Сорбонны, который в более ранних и широко известных работах уже намечал путь решения проблемы. О популярности Пуанкаре и большой известности его работы «Наука и гипотеза», изданной в конце 1902 года в Париже, можно судить хотя бы по тому, что уже в 1904 году она была переиздана в Петербурге на русском языке в переводе профессора Умова. Мы и сейчас, пожалуй, не знаем таких коротких сроков переиздания научных монографий.

Ортодоксов: Ты полагаешь, что существовали сторонники сознательного искажения правильного освещения этого вопроса?

Иноверцев: Насколько их действия были сознательными, нам теперь судить трудно. Несомненен лишь факт тенденциозного, одностороннего приписывания создания теории Эйнштейну. В очерках по истории специальной теории относительности У. И. Франкфурт, например, приводит утверждение профессора Д. И. Иваненко о том, что работа Эйнштейна была подхвачена многочисленной армией немецких физиков-теоретиков.

Ортодоксов: В книге Барбары Клайн обращено внимание на те трудности, которые испытывали в Германии даже выдающиеся ученые неарийского происхождения. И можно догадаться, насколько еще более трудно было жить и работать рядовым ученым средних способностей. Возможно, что для таких ученых неарийского происхождения жизненно необходимым было сконцентрировать внимание на Эйнштейне как на единственном создателе фундаментальной физической теории.

Иноверцев: Похоже, что этим предположением ты пытаешься в некоторой степени оправдать возникновение несправедливой недооценки вклада других ученых в создание специальной теории относительности. Но разве можно вообще найти оправдание для тех, кто пытался бы отстаивать право заниматься научной деятельностью не своими способностями, а только ссылаясь на гениальных соотечественников, например Ломоносова, Лобачевского или Менделеева. Кроме того, нужно совсем потерять чувство меры, чтобы умышленно преувеличивать заслуги Эйнштейна, который и без того является одним из основоположников идей квантовой физики и единственным создателем общей теории относительности.

Правда, Пуанкаре опередил его с постановкой самого вопроса о необходимости обязательного приведения теории тяготения в соответствие с релятивистской теорией. Первая попытка создания релятивистской теории тяготения принадлежит Пуанкаре. Тот факт, что эта попытка была предпринята им в работе 1905 года по созданию специальной теории относительности, характеризует его глубокое понимание прежде всего физической стороны проблемы. Он ясно понимал, что основное положение теории об отсутствии абсолютного движения может быть выполнено только при инвариантности уравнения тяготения относительно преобразований Лоренца.

На это обстоятельство полезно обратить внимание тем, кто подобно Б. Г. Кузнецову, утверждает, что в этой работе Пуанкаре-математик опередил Пуанкаре-физика.

Ортодоксов: Верно. В первой работе Эйнштейна эта проблема не была даже поставлена. С другой стороны, Эйнштейн в отличие от Пуанкаре сразу же обратил внимание на совершенно новую постановку в этой теории проблемы соотношения между энергией и массой движущегося тела. Кстати, Б. Клайн совершенно правильно обращает внимание на то, что из соотношения Эйнштейна

об эквивалентности массы и энергии вовсе еще не следовал, как это часто утверждают, вывод об огромных запасах энергии в атомных ядрах.

Иноверцев: Да, конечно. Это соотношение первоначально выражало лишь эквивалентное возрастание инерции тела с увеличением энергии его движения. Теория относительности непосредственно еще не давала физической интерпретации величины энергии, связанной с массой покоя.

Ортодоксов: А были ли известны Эйнштейну более ранние работы Лоренца и Пуанкаре?

Иноверцев: Этот вопрос подробно был освещен Кесуани в Британском журнале «Философия науки». Он провел целое исследование по определению вклада каждого из авторов в разработку специального принципа относительности. Как я уже говорил тебе, статья Эйнштейна не содержит никаких литературных ссылок. Однако в самом тексте два раза упоминается об электродинамике движущихся тел Лоренца. Что же касается работы Пуанкаре 1902 года, то Кесуани приводит высказывания двух коллег Эйнштейна, которые свидетельствуют о совместном с ним изучении этой работы в кружке «Олимпия» в Берне.

Интересные сведения приводит Кесуани о мнении самих создателей теории относительности по поводу основного вклада в создание теории. Пуанкаре отдавал предпочтение работе 1904 года Лоренца, который, в свою очередь, первоначально считал основным вклад Пуанкаре. Однако затем он стал, как и другие, отмечать только вклад Эйнштейна. Его утверждение, что введенное им в движущейся системе «местное» время из формальной переменной только Эйнштейном было превращено в реальное время, приводят часто как отказ от претензий на приоритет в создании теории относительности.

Небезынтересно будет отметить, что написанное Пуанкаре незадолго до смерти популярное изложение теории относительности не содержит даже упоминания об Эйнштейне. Видимо, Пуанкаре в такой необычной форме протестовал против переоценки значения работы Эйнштейна. В то же время Эйнштейн в своих последующих статьях отзывался о Пуанкаре как о выдающемся ученом и тонком мыслителе.

Ортодоксов: Все это очень интересные исторические данные. Но самым неожиданным для меня оказался

твой рассказ о новейшем развитии понимания сущности теории относительности в плане пересмотра решения давнего спора о геометрии и опыте. Я не прочь выслушать и твои необычные суждения о споре Эйнштейна с Бором по вопросу о полноте квантовой механики.

Иноверцев: К сожалению, спорные вопросы по этим проблемам еще далеки от той степени завершенности, которая имеет место в теории относительности. Правда, именно это обстоятельство и представляет наибольший интерес для тех немногих, кто сегодня занимается поисками более глубокого понимания квантовой теории. Это деятельность, на первый взгляд, весьма далека от наиболее актуальных сегодня проблем теоретического объяснения явлений физики элементарных частиц, над решением которых сейчас трудится подавляющее большинство физиков-теоретиков. Но я уверен, что их огромная работа не может увенчаться успехом построения теории элементарных частиц до того, как будут ликвидированы основные проблемы в понимании квантовой механики. Между прочим, если в новейшей области теоретической физики даже исследователи средних способностей могут надеяться, что раньше других продумают какой-либо новый подход, то дальнейшее развитие понимания квантовой теории подразумевает решение проблемы, над которой уже долгие годы размышляли самые выдающиеся ученые. Так что речь идет о решении сложнейшей проблемы, к которой, к сожалению, в настоящее время сохраняют интерес лишь немногие физики.

Ортодоксов: Но потому и утрачен интерес к этой проблеме, что она полностью была исчерпана предыдущими исследованиями, завершившимися созданием копенгагенской интерпретации квантовой механики.

Иноверцев: Видишь ли, обсуждая проблему дальнейшего развития теории квантовых явлений, необходимо прежде всего учитывать, что современное понимание этой теории вовсе не осталось на уровне тридцатого года, как это описано в книге Б. Клайн. Копенгагенскими теоретиками было найдено лишь первое приближение интерпретации, без которого, собственно, и не было бы квантовой механики как физической теории. В самом деле, без установления строгого соответствия между символами ранее созданного математического аппарата теории и наблюдаемыми на опыте величинами вообще было бы невозможным примснение теории. Но копенга-

генская интерпретация теории кроме необходимой однозначной расшифровки созданного аппарата теории содержала и явно нестрогие или ошибочные утверждения, выходящие за рамки проверяемого на опыте содержания теории.

Ортодоксов: Интересно, что же ты относишь к таким ошибочным утверждениям?

Иноверцев: Ну, прежде всего утверждения, нарушающие строгую последовательность статистической интерпретации теории подменой коллектива невзаимодействующих друг с другом индивидуальных объектов отдельным объектом. Почти во все учебники по квантовой механике проникли, например, утверждения о неопределенном значении координаты или импульса отдельного электрона. На самом же деле в квантовой механике с каждым отдельным электроном производится только одно измерение, которое допускает определение точного значения координаты или импульса. Разброс значений измеряемых величин обнаруживается только в серии повторных измерений, которые проводятся всегда с разными экземплярами коллектива тождественных систем. К этому коллективу и должны относиться утверждения о неопределенности значений координат и импульсов. От этой недопустимой для точной науки подмены понятий свободны всего несколько курсов по квантовой механике. Фон Нейман первым дал наиболее строгое изложение квантовой теории. Принципиальное значение использования квантовых статистических ансамблей (коллективов) для объяснения подлинного смысла установленных закономерностей микромира отмечено в ряде работ Д. И. Блохинцева.

Ортодоксов: Однако известно, что против концепции квантовых ансамблей Блохинцева неоднократно выступал академик В. А. Фок.

Иноверцев: На мой взгляд, в большей своей части эта дискуссия основана на недоразумении. В. А. Фок действительно высказывал утверждение, что волновая функция не связана с каким-либо квантовым ансамблем. При этом он признавал только ансамбли статистических распределений результатов измерений, которые, конечно, зависят еще от типа проведенных измерений. Но вместе с тем В. А. Фок утверждает, что волновая функция характеризует потенциальные возможности проявления микрочастицы. А это и есть признание проявления свойств

частицы в статистическом ансамбле тождественных систем, которые, по терминологии В. А. Фока, специально должны создаваться в приготовляющем опыте. Таким образом, В. А. Фок в действительности признает исходный статистический ансамбль квантовых систем. Но он считает эти системы полностью тождественными и потому такой исходный ансамбль систем отождествляет с отдельной квантовой системой.

Д. И. Блохинцев же обращает внимание на весьма важную сторону вопроса, отмечая, что тождественность этих систем обеспечена лишь макроскопически контролируемыми средствами. Действительно, микросистемы могут отличаться по микропараметрам, что, в свою очередь, и может являться причиной наблюдаемых статистических разбросов результатов измерения с различными экземплярами макроскопически тождественных квантовых систем. И только в этом принципиальное расхождение их точек зрения.

Ортодоксов: Да, квантовая теория, строго говоря, позволяет говорить о тождественности систем только в смысле тождественности их макроскопических частей.

Иноверцев: Вообще же я считаю, что критика советскими учеными многих ошибочных философских установок копенгагенской школы сыграла большую роль в формировании более строгого изложения квантовой механики. Я также думаю, что явно позитивистские утверждения были сделаны создателями квантовой механики вовсе не из желания подвести научно-естественный фундамент под идеалистическую философию, а только с целью уйти от решения вопросов, выходящих за рамки созданного аппарата теории, и тем самым создать впечатление полной законченности теории квантовых явлений. Так или иначе, все эти идеалистические установки связаны с попыткой пересмотреть понятие физической реальности, сузить это понятие только до наблюдаемых результатов измерений и тем самым устранить проблему теоретического воспроизведения по результатам измерений самого объекта физической реальности.

Ортодоксов: Но такой подход полностью согласуется с принципом дополнительности Бора, который сейчас признается и многими философами-материалистами.

Иноверцев: Это верно. Принцип дополнительности прежде всего констатирует тот факт, что свойства микрообъектов мы непосредственно можем познавать лишь

в несовместимых двух видах экспериментальных исследований — координатного и импульсного аспектов. В этой своей исходной части принцип дополнительности опирается непосредственно на физический принцип неопределенности Гейзенберга. Выходит же он за пределы проверенной опытом физической теории во второй своей (уже философской) части, в которой отвергаются необходимость и возможность теоретического объединения в единый образ сведений, полученных в дополнительных экспериментально несовместимых исследованиях. Как видишь, название этого принципа вовсе не соответствует его содержанию. О дополнении разных наблюдаемых свойств следовало говорить, если бы именно на основе дополнительных сведений однозначно теоретически восстанавливались непосредственно наблюдаемые свойства объекта.

Представь себе, если бы для наблюдения проекций тела на некомпланарные плоскости существовал запрет одновременного осуществления этих экспериментальных процедур. Разве можно было бы по этой причине запрещать аналитической геометрии однозначное восстановление объемных свойств предмета? В данном случае несуразность такого запрета очевидна. А в квантовой теории совершенно аналогичный запрет развивать познание непосредственно ненаблюдаемых свойств микрообъектов многие выдают за принцип большой научной ценности.

Ортодоксов: Но до сих пор всегда стремились освободить физическую теорию от излишних понятий и ненаблюдаемых величин.

Иноверцев: Это совсем другое дело. Я ведь говорю о понятиях и величинах, которые должны быть однозначно связаны в теории со всей совокупностью наблюдаемых величин. Позитивисты в полном соответствии со всей исходной позицией отвергают существование таких величин как ненаблюдаемых. Более удивительно, что и многие материалисты отстаивают тот же взгляд, считая, что признание ненаблюдаемых величин ведет к агностицизму. Это, конечно, явное недоразумение, основанное на неправомерном отождествлении непосредственной наблюдаемости с познаваемостью. Казалось бы, вполне естественно, что некоторые параметры микросистем остаются непосредственно ненаблюдаемыми макроскопическими средствами, и познание их возможно только на основании

теоретического анализа всей совокупности наблюдаемых величин.

Ортодоксов: С этими общефилософскими соображениями, пожалуй, можно согласиться. Но меня больше интересует конкретный вопрос о полноте квантовой механики. Важно, что формализм существующей теории позволяет предсказать вероятное описание результатов любых опытов в области атомной физики. И все попытки Эйнштейна найти опыт, выходящий за рамки формализма существующей теории, окончились неудачей. И хотя сам Эйнштейн так и не признал квантовую механику, его критическую позицию не поддержали другие физики.

Иноверцев: Не стоит упрощать точку зрения Эйнштейна. Он, собственно, никогда не был против квантовой механики, и считал ее единственной теорией, описывающей атомные явления. Но он не признавал созданную механику окончательной теорией. Можно не соглашаться с Эйнштейном относительно намечаемого им дальнейшего пути развития квантовой теории, но отрицать вообще возможность ее развития по меньшей мере антинаучно.

Спор Эйнштейна с Бором имеет, между прочим, по крайней мере три различных аспекта. И только в одном из них Бору удалось строго доказать ошибочность утверждений Эйнштейна. Правильность его возражений по другому аспекту обсуждаемой проблемы была доказана лишь более поздними исследованиями других авторов. Существует и третий, наиболее важный и принципиальный аспект этого спора, в котором современная физика, на мой взгляд, явно принимает сторону Эйнштейна, хотя и не решает пока его окончательно и полностью.

Ортодоксов: Очень любопытно! На какие же части ты расчленяешь эту дискуссию?

Иноверцев: Ну, прежде всего это уже отмеченная тобой попытка Эйнштейна найти в области атомной физики явление, не описываемое квантовой механикой. Основанная на общетеоретических и гносеологических соображениях, его уверенность в неполноте квантовой механики конкретно выражалась им в виде действительно ошибочной надежды найти такой опыт. Все предложенные Эйнштейном примеры подобных опытов были весьма успешно и эффективно отклонены главою копенгагенской школы. Но может быть, именно это обстоятельство и помешало другим физикам понять серьезность общей аргументации

Эйиштейиа н предпрниять спецнальные исследовання для выяснения других аспектов спора.

К другим же стороиам позиции Эйиштейиа следует отиести прежде всего его общую увереииость в возможности создаиия пространствеиио-времеииого опнсання движеиия микрочастиц н лишь затем предлагаемый нм коикретиый путь решеиия этой проблемы иа осиове устаиовления детермиилстического описаиия. Бор был совершеиио прав, отрицая возможность такого описаиия движеиия микрочастиц. Одиако ои в действительности тогда ие располагал строгим иаучиым доказательством для такого отрицаиия.

Ортодоксов: Позволь перебнть тебя. Кваитовая механика в своих исходиых положеииях отрнцает движеиие микрочастиц по траектории, и, следовательно, оиа в прииципе иесовместима с детерминнзмом.

Иноверцев: Нет, это не совсем так. В нсходных прннципах квантовой теории явио содержнтся лишь отрицаине возможиости измереиия траекторни микрочастицы. Вопрос же о совместимостн квантовомехаиического описаиия с предположеиием о движеиии микрочастиц по скрытым, непосредствеино неиаблюдаемым траекторням требует для своего выяснения спецнальиого аналнза квантовомехаиических статистическнх распределеиий результатов нзмерення всей совокупностн наблюдаемых величнн.

Очень жаль, что Барбара Клайн не рассказывает в своей кииге о дальиейшей дискуссни вокруг этого вопроса. А здесь ведь произошли довольио яркие, я бы сказал, драматические события, связанные с именем Лун де Бройля. На Сольвеевском конгрессе под впечатленнем успешиой победы иад возражеииями Эйиштейна Лун де Бройль, несмотря иа собственные сомнеиня, присоединнлся к копенгагеиской иитерпретации квантовой механикн. А через 25 лет ои письмеиио засвидетельствовал свой отказ от общеприиятой иитерпретации и сожалел о потеряииом времени в связн с прекращеиием понска прнчииного описания двнжеиия иидивидуальных кваитовых объектов. Во Фраиции в Институте теоретической физнки нм. Аирн Пуаикаре возиикла целая школа этого иаправления во главе с Лун де Бройлем. Несмотря иа безуспешиость в решении поставлеииой задачн, критическая деятельиость этой группы сыграла все-таки положительную роль, заострив внимаиие иа нерешенных вопросах.

Все эти факты, конечно, хорошо известны. Поэтому создается впечатление, что Барбара Клайн умышленно выбрала такую благоприятную концовку, представив только одного Эйнштейна в качестве сомневающегося в законченности квантовой теории.

Ортодоксов: Да, вполне возможно, что она решила уклониться от исторической правды, чтобы своей книгой не вызывать сомнений среди читателей в правильности избранного большинством физиков пути. Что же касается возможности скрытого детерминизма в квантовой механике, то, как известно, она отрицается строгой теоремой фон Неймана.

Иноверцев: Кстати, этой ссылкой на теорему Неймана в книге, опубликованной лишь в 1934 году, ты фактически уже соглашаешься с тем, что Бор, по крайней мере в 1930 году, не располагал строгим доказательством невозможности скрытого детерминизма.

Ортодоксов: Да, пожалуй.

Иноверцев: В самом деле, именно теорема Неймана о невозможности получения детерминистского описания добавлением в квантовую механику скрытых параметров в последующей дискуссии постоянно приводилась в качестве доказательства необоснованности поиска детерминизма. Сторонники ошибочного направления затратили немало усилий на опровержение теоремы Неймана. Но самое курьезное в этой истории было то, что вместо напрасных попыток опровергнуть правильную теорему им бы следовало обратить внимание на ее недостаточность для отрицания совместимости квантовой механики с предположением о движении частиц квантового ансамбля по определенной траектории. На это важнейшее обстоятельство было обращено внимание лишь в книге Д. И. Блохинцева «Принципиальные вопросы квантовой механики».

У Неймана речь идет о скрытых параметрах в смысле величин, неучтенных явно в формализме квантовой механики. Однако Нейман непосредственно исходит из возможности измерения этих скрытых величин. Дополнительный учет таких параметров, естественно, не может привести к детерминизму. Траекторию же скрытого движения микрочастиц могли бы определять только непосредственно неизмеряемые параметры, на которые теорема Неймана не может быть распространена. Лишь в последнее время были проведены исследования, строго доказав-

шие невозможность представления движения микрочастиц квантового статистического ансамбля по определенной скрытой траектории, определяемой скрытыми неизмеряемыми параметрами. И хотя последние годы ты, подобно Олдфилду из книги Клайн, не бродил в джунглях Южной Америки, все-таки, наверняка, ничего не знаешь об этих исследованиях.

Ортодоксов: Да, к сожалению, я оказался не в курсе этих тонких вопросов.

Иноверцев: Не огорчайся, твоя неосведомленность в этих проблемах типична для существующего сегодня пренебрежительного отношения к важной задаче дальнейшего развития интерпретации квантовой механики.

Ортодоксов: Не понимаю, как ты можешь считать это важнейшей задачей в физике и в то же время соглашаться, что существующий аппарат квантовой механики описывает все возможные в атомной физике эксперименты?

Иноверцев: Действительно, современная квантовая механика дает статистические предсказания результатов любых экспериментов в области атомной физики. Но эта теория, однако, не дает еще той скрытой информации о деталях микропроцесса, которую, я уверен, будущая теория однозначно восстановит на основании анализа всей совокупности наблюдаемых величин. Я имею в виду сведения о вероятностных характеристиках пространственно-временного описания движения микрочастиц, имеющих прямое отношение к свойствам самих микрочастиц и физического вакуума и создающие поэтому предпосылки для успешного исследования более глубокой области физических явлений.

В свое время создание кинетической теории молекулярного движения также не внесло никаких изменений собственно в термодинамику, которая описывала все возможные в области ее применения эксперименты. Но именно кинетическая теория материи открыла дверь для научных исследований в область совершенно новых явлений молекулярного и атомного мира. Подобно этому и новая теория квантовых явлений должна будет на основе установления скрытого движения микрочастиц дать подлинное обоснование существующей квантовой механики и тем самым создать базу для научного исследования конкретных свойств элементарных частиц и физического вакуума.

Ортодоксов: Согласен, эта аналогия действительно дает некоторые надежды на получение в таких исследованиях новых интересных результатов. И поэтому я хотел бы узнать подробнее о работах, посвященных изучению вопроса о скрытом движении микрочастиц. Правда, я совершенно не понял, какое отношение все это имеет к свойствам физического вакуума.

Иноверцев: Очень хорошо, что ты согласился признать эти проблемы достойными внимания.

Так вот, прежде всего было выяснено, что при движении частиц какого-нибудь определенного статистического коллектива по единой траектории распределения вероятностей результатов независимых измерений по отдельности их координат и импульсов оказываются взаимосвязанными. Из довольно простого анализа этих распределений можно выяснить не только сам факт движения частиц по одной и той же траектории, но найти эту траекторию в фазовом пространстве координат и импульсов. Таким образом, непосредственное наблюдение траектории частиц — вовсе не единственный способ обнаружения движения частиц по траектории. Важно также, что отдельные измерения координат и импульсов могут быть проведены на различных тождественных экземплярах статистического коллектива исследуемых систем, и поэтому допустимо сколь угодно сильное нарушение движения в результате вмешательства измерительного прибора.

Ортодоксов: Не мог бы ты мне пояснить на каком-нибудь простом примере движения классического объекта возможность определения траектории его движения без одновременного измерения его импульса и координаты?

Иноверцев: Пожалуйста. Представь себе, что в темную комнату внесен обычный гармонический маятник в стационарном состоянии колебательного движения. Пусть далее в случайные моменты времени даются короткие световые вспышки и производится регистрация положений маятника. После многократного повторения таких измерений будет получено вполне определенное статистическое распределение координат маятника. Столь же просто может быть осуществлено и измерение мгновенных значений импульсов маятника безотносительно к его положению в пространстве. В том случае, когда процесс измерения нарушает состояние движения маятника, последующие измерения необходимо проводить на других

тождественных экземплярах исходного статистического коллектива маятников, находящихся в одном и том же стационарном состоянии движения.

Подставляя полученные функции распределения для координат и импульсов в определенное уравнение, мы найдем эллиптическую траекторию маятника в фазовом пространстве.

Ортодоксов: Очень интересно. Я не знал, что такая задача может быть решена однозначно. Насколько мне известно, в классической статистической физике она никем ранее даже не была поставлена.

Иноверцев: Совершенно верно. Кстати, этот неожиданный пример из классической статистической физики, так же как и приведенные мною примеры развития понимания теории относительности, должен лишний раз предостеречь тебя от ручательства за исчерпывающую полноту возникшей позже квантовой механики.

Так вот, основное соотношение, определяющее траекторию движения объекта по статистическим распределениям координат и импульсов по отдельности, имеет совершенно универсальный характер, так как оно было получено только на базе общих закономерностей математической статистики без использования каких-либо динамических законов физики. Поэтому оно может быть применено и для анализа функций распределения по координатам и импульсам, даваемых квантовой механикой. Результат такого анализа показывает, что квантовомеханические функции распределения не приводят к выявлению определенной траектории в фазовом пространстве.

Ортодоксов: Значит, и этот, более строгий математический анализ, также показывает отсутствие траектории у микрочастиц.

Иноверцев: Не совсем так. Строго говоря, этот анализ показал только отсутствие вполне определенных траекторий у микрочастиц, подчиненных законам квантовой механики. Вопрос же о движении этих частиц по случайным траекториям остается до сих пор открытым. В том же примере с маятником рассмотренный статистический анализ также не выявит определенной траектории, если в процессе измерений функций распределения по координате и импульсу будут происходить случайные изменения стационарного движения маятника, например, за счет мгновенных случайных толчков, изменяющих им-

пульс маятника. Но в этом случае так же, как и для движения броуновской частицы, никто не будет, очевидно, отрицать сам факт движения объектов по различным траекториям в фазовом пространстве. Совершенно ясно, что речь в этом случае должна идти о случайных траекториях. В классической статистической физике не возникает повода сомневаться в существовании таких траекторий только потому, что они обнаруживаются непосредственно оптическими наблюдениями.

Я уверен, что специфическая особенность квантовой механики состоит в том, что в ней мы встречаемся с движением по непосредственно ненаблюдаемым случайным траекториям, познание которых возможно только на основе сложного статистического анализа функций распределения для измеряемых величин. Эта особенность и является причиной всех трудностей интерпретации свойств движения микрочастиц. Кроме того, есть еще одно принципиальное отличие. В классической статистической физике сохраняется иллюзия возможности предсказания траектории движения индивидуальных броуновских частиц при задании начального состояния движения всех молекул среды, возмущающих их движение. В квантовой же механике не остается оснований даже для подобной иллюзии восстановления детерминизма, так как здесь мы имеем дело с возмущениями движения микрочастиц со стороны физического вакуума, который принципиально уже нельзя представить себе предсказываемым из-за бесконечного числа степеней свободы этой среды.

Ортодоксов: Но если эти траектории теоретически непредсказуемы и экспериментально ненаблюдаемы, то какой смысл тогда вводить такой непознаваемый образ в теоретическую физику? Ведь использование в современной квантовой теории только непосредственно наблюдаемых величин составляет ее основное преимущество, а не недостаток.

Иноверцев: Кажется, все мои усилия убедить тебя в правомерности более глубокой постановки вопроса не достигли поставленной цели. Ты продолжаешь изрекать давно устаревшие догмы копенгагенской интерпретации квантовой механики, даже не подозревая, что современное состояние науки требует от сторонников этих взглядов уже новой, более обоснованной аргументации.

Я могу лишь повторить, что речь идет о строгом научном познании распределения вероятности движения каж-

дой индивидуальной микрочастицы по скрытым в смысле непосредственной наблюдаемости траекториям.

Ортодоксов: Ну, и каковы же успехи в установлении вероятностного описания таких траекторий?

Иноверцев: Фактически вся эта проблема была поставлена Эйнштейном в его полемике с Бором. Я имею в виду его общую уверенность в необходимости поиска пространственно-временного описания движения микрочастиц. В своем письме к М. Борну он писал, что не может серьезно верить в квантовую механику, так как она не представляет действительности в пространстве и времени. В связи с этим Макс Борн пришел к выводу, что отклонение Эйнштейном современной квантовой физики было обусловлено не столько вероятностным характером описания поведения микрочастиц, сколько отсутствием вообще какого-либо описания движения частиц в пространстве и времени.

Первый же конкретный шаг в этом направлении был сделан фон Нейманом, который указал на неожиданную возможность использования для квантовых частиц плотности вероятности в фазовом пространстве импульсов и координат, аналогичной фазовой плотности Гиббса в классической статистической физике. То есть, несмотря на невозможность одновременного измерения координаты и импульса микрочастицы, такая непосредственно неизмеримая величина, как плотность вероятности, может быть теоретически использована для описания результатов измерений.

Развитие аппарата квантовой механики в этом направлении было предпринято целым рядом авторитетных ученых, таких, как Вейль, Вигнер, Дирак, Блохинцев, и др. Им удалось на этой основе получить описание квантовой механики, совершенно тождественное обычному.

Однако это не было окончательным доказательством движения микрочастиц по случайным траекториям. Используемые в этих работах функции распределения или матрицы плотности в смешанном координатно-импульсном пространстве не допускали строгой интерпретации в качестве плотности вероятности, так как они принимали при некоторых значениях переменных либо отрицательные, либо комплексные значения. Сам же факт несовпадения полученных функций говорил, кроме того, и о неоднозначности решения поставленной задачи.

Несколько другой подход, но также близкий по своей форме к классической физике, был развит известным американским теоретиком Фейнманом. Он ввел суммирование амплитуд вероятностей по различным возможным путям движения микрочастиц, но также получил лишь комплексные псевдовероятности для отдельных траекторий. Развитием этого представления квантовой механики занимался затем советский физик Рязанов. Ему удалось получить для скрытых траекторий действительные и всюду положительные вероятности, но ценою введения обратных во времени траекторий.

Я думаю, что неокончательность решения поставленной задачи говорит только о необходимости более сложного представления, чем представление о движении микрочастиц по траекториям, изменяющимся под действием случайных возмущений со стороны физического вакуума.

Ортодоксов: А мне кажется, что получение всех этих псевдовероятностей является неизбежным результатом попыток втиснуть в рамки классической статистической физики квантовый объект, для описания которого просто требуется более емкое функциональное пространство.

Иноверцев: Совершенно верно. Примерно то же самое я имел в виду, говоря о необходимости развития более сложных представлений о движении микрообъектов в пространстве и времени.

Ортодоксов: По-моему, ты недооцениваешь принципиальную непреодолимость этого несоответствия свойств микрообъекта и возможностей классической схемы описания его движения.

Иноверцев: Если трудность принципиально неразрешима, то это должно найти свое выражение в строгом доказательстве математической теоремы. Но и в этом случае необходим будет поиск новых функциональных форм, заменяющих обычные категории пространственно-временного бытия. Думаю, с такой проблемой физики могут столкнуться при описании явлений, связанных с внутренней структурой самих элементарных частиц. В области же атомных явлений не только не доказана такая теорема, а, напротив, успешное решение задачи квазиклассического описания на основе формального использования так называемых псевдовероятностей убеждает скорее в возможности полного решения задачи на

основе конкретного учета более сложных свойств описываемого объекта.

Я могу и в рамках классической физики привести тебе убедительные примеры появления принципиальных трудностей описания поведения объектов, возникающих из-за отсутствия конкретных сведений об их сложной структуре.

Представь себе объект, состоящий из двух слабовзаимодействующих частей, из которых только одна наблюдаема каким-либо физическим прибором. Формальное описание движения только этой наблюдаемой части объекта будет иметь весьма странные особенности, на первый взгляд необъяснимые классической физикой. Но стоит догадаться о сложной структуре объекта, как за счет учета корреляции в движении отдельных частей можно будет построить вполне классическое описание в пространстве с удвоенным количеством фазовых переменных. В эту схему укладывается движение в жидкой или газообразной среде тела, испускающего упругие волны. Для получения совершенно неклассической картины поведения тела достаточно будет допустить только принципиальную ненаблюдаемость непосредственными приборами упругих волн среды. Вероятностный характер описания потребуется при малой массе частицы, когда существенно будет влияние случайных броуновских толчков. В поведении статистического коллектива из отдельных таких кентавров, составленных из объектов классической физики, будут наблюдаться загадочные «неклассические» свойства, напоминающие даже некоторые свойства квантовых микрочастиц. Например, отражение от экрана звуковой волны, опережающей движение частицы, приведет к образованию стоячей волны, влияние на поведение броуновских частиц которой может быть выявлено в качестве закономерности только при исследовании коллектива таких индивидуальных частиц. Подобный объект имитирует нарушение принципа причинности не только из-за воспринимаемых им случайных молекулярных толчков, но также и в связи с влиянием на движение частицы отражающего экрана до того, как она приблизится к нему.

При прохождении же каждой частицы через щель в экране на ее дальнейшее поведение будет влиять присутствие в экране других отверстий, через которые проходит волна, создающая затем интерференционную картину распределения плотности среды за экраном.

Ортодоксов: Интересно, а кто-нибудь рассчитывал в рамках классической физики закономерности движения таких кентавров?

Иноверцев: Думаю, что нет. Но ведь это только пример аналогии в классической физике, когда очевидна невозможность описания в обычном фазовом пространстве без привлечения аппарата псевдовероятностей или конкретного учета сложной структуры самого объекта. Для объяснения квантовых явлений потребуется решить несоизмеримо более сложную задачу.

Однако я не сомневаюсь, что рано или поздно эта задача будет решена, и все мы будем удивляться гениальной прозорливости и мудрому упрямству Эйнштейна, до конца своих дней верившего в возможность существенного развития современной теории квантовых явлений.

Ортодоксов: А все-таки странно у тебя получается. Ты по всем пунктам оценки научной деятельности Эйнштейна занимаешь прямо противоположную сложившемуся общественному мнению точку зрения. Все осуждают его позицию по отношению к квантовой механике. Ты же представляешь ее примером мудрости.

Иноверцев: Нет. Я говорю о его правоте только в одном из аспектов его спора с Н. Бором. Однако надо помнить, что слепое следование примеру большинства в научном мышлении никогда еще не приводило к принципиально новым результатам. Только строгий логический анализ и умение делать собственные выводы, невзирая на авторитеты и руководствуясь только полностью осознанными научными аргументами, могут привести к открытию новых еще не осознанных большинством истин.

Кстати, в оценке деятельности и правильности научной ориентации Эйнштейна я вовсе не по всем пунктам расхожусь с мнением большинства научной общественности. Так же, как и другие, я сожалею о многих годах напряженного труда, затраченных Эйнштейном на бесплодные поиски единой теории электромагнитных и гравитационных явлений. Но научную необоснованность я вижу не вообще в постановке этой проблемы, а в конкретном пути ее решения на основе геометризации не только гравитационного, но и электромагнитного поля. Самое же удивительное, на мой взгляд, заключается в том, что безуспешные и ошибочные в своей основе попытки учесть в едином метрическом тензоре гравитационное и электромагнитное поля были предприняты самим созда-

телем общей теории относительности. Ведь успех создания общей теории относительности основан прежде всего на универсальности гравитационного взаимодействия и уже затем на количественной тождественности этих сил также универсальным силам инерции. А так как электромагнитное поле не является всеобщим, универсальным, то формальное сведение его к геометрии не может иметь физического обоснования.

Этот удивительный и парадоксальный факт позволяет нам увидеть и другую сторону той особенности творчества А. Эйнштейна, которая состоит в развитии им принципиально ненаглядного способа теоретического мышления. Действительно, А. Эйнштейн обладал удивительной способностью находить пути к окончательному решению физической проблемы без воздвижения вспомогательных лесов на фундаменте прежних физических представлений. При построении здания новой теории А. Эйнштейн целиком исходил только из новых принципов и формальной логики теоретического мышления, не связанной с наглядностью прежних физических представлений. Вспомогательные леса, связывающие новую теорию с прежними физическими представлениями, не воздвигались и после формального построения здания новой теории. Казалось бы, в них уже нет надобности после создания новой теории. Однако на самом деле именно эти вспомогательные промежуточные построения позволяют в полной мере уяснить соотношение новых физических представлений с прежними. . . . . .

Ортодоксов: К сожалению, пора заканчивать наше затянувшееся обсуждение. Пока я смог убедиться только в твоей крайней уверенности в необходимости развития квантовой теории с целью выяснения, как ты говоришь, непосредственно наблюдаемых свойств микрочастиц. Думаю, однако, что большинство физиков не могут без оснований отрицать возможности такого развития теории.

Иноверцев: Я не сомневаюсь, что окончательное решение нашего спора дадут лишь дальнейшие теоретические исследования всего комплекса затронутых вопросов. Не сомневаюсь, что в будущем будет оценена и важность вклада тех, кто отстаивал саму постановку этой проблемы, несмотря на критическое отношение признанных авторитетов и их сегодняшних многочисленных последователей.

Содержание

Клайн Б.

В ПОИСКАХ. ФИЗИКИ И КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

Редактор **Г. П. Паршина**
Художественный редактор **А. С. Александров**
Художник **В. Г. Прохоров**
Технический редактор **Н. А. Власова**
Корректор **Н. Н. Ишпулина**
Перевод с англ. **Зеленин Р. А.**

Сдано в набор 22/V 1970 г. Подписано к печати 7/I 1971 г. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 15,12. Уч.-изд. л. 15,72. Тираж 58 000 экз. Цена 90 коп. Зак. изд. 68102. Зак. тип. 1096.

Атомиздат, Москва, К-31, ул. Жданова, 5/7.

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Ярославль, ул. Свободы, 97.

4
3
2
54
74
92
17
32
41
55

×108/32.
000 экз.

ати при

